

# **UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



## **POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA**

**IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE MANUFACTURA  
ESBELTA EN EL ÁREA DE MOLDEO DE UNA EMPRESA  
AEROESPACIAL**

### **T E S I S**

**PRESENTADA POR**

**BRIAN JOSÉ AGUIRRE VALENZUELA**

Desarrollada para cumplir con uno de los  
requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestro en Ingeniería

**DIRECTORA DE TESIS  
DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES NAVARRETE HINOJOSA**

**CODIRECTOR  
DR. LUIS FELIPE DESSENS ROMERO**

**HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.**

**ENERO 2021**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Hermosillo, Sonora a 5 de noviembre de 2020

**BRIAN JOSÉ AGUIRRE VALENZUELA**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE MANUFACTURA ESBELTA EN EL ÁREA DE MOLDEO DE UNA EMPRESA AEROSPACIAL** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

Dra. María de los Ángeles Navarrete  
Hinojosa  
Directora de tesis y Presidente del jurado

Dr. Luis Felipe Romero Dessens  
Codirector y Vocal del Jurado

Dr. Jaime Alfonso León Duarte  
Secretario del Jurado

Dr. Jaime Olea Miranda  
Vocal del Jurado

San José, California, Estados Unidos, el día 30 de octubre de 2020

**BRIAN JOSÉ AGUIRRE VALENZUELA**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extendiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE MANUFACTURA ESBELTA EN EL ÁREA DE MOLDEO DE UNA EMPRESA AEROESPACIAL** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE



DR. JOSÉ LUIS RUIZ DUARTE  
SAN JOSE STATE UNIVERSITY  
Sinodal Externo y Vocal del Jurado

## **RESUMEN**

En la actualidad, las empresas necesitan ser competitivas y eficaces para lograr su permanencia en el mercado. Las técnicas y procedimientos que comprenden la filosofía de Lean Manufacturing se han convertido en un poderoso aliado de las empresas en la búsqueda de su supervivencia. Ejecutar sus herramientas y técnicas de la mejor manera, permite gestionar de forma exitosa los obstáculos relacionados con la calidad, costos y tiempos de entrega. La filosofía Lean se enfoca en el proceso de elaboración del producto, ayudando a eliminar desperdicios para la creación de valor para los clientes, quienes en última instancia, constituyen el eslabón más importante de la cadena cliente-proveedor. Para la aplicación exitosa de la filosofía Lean se requiere que todo el personal comprenda y acepte sus preceptos y condicionantes con el propósito de que realmente sea efectivo el conocimiento que nos otorga.

En este proyecto se aplicaron algunas de las herramientas y técnicas de la manufactura esbelta en un área de moldeo de una empresa aeroespacial, proceso de mejora que inició con la comprensión de la filosofía y continuó con la creación de un equipo de trabajo para en conjunto, elaborar el mapeo de la cadena de valor que reflejó el inicio y el final de la elaboración de empaques de silicón. El mapeo de la cadena de valor también conocido como Value Stream Mapping, mayormente llamada VSM, es fundamental que se ejecute al principio de cualquier proyecto, ya que nos ilustra como se conforma el proceso de alguna familia de productos, y hace evidentes las áreas en las que se requiere mejorar, así como el uso apropiado de las herramientas y/o técnicas de la manufactura esbelta para tal fin.

Una de las herramientas que comprende la manufactura esbelta utilizadas, fue el Mantenimiento Productivo Total, TPM, cuya implementación fue importante para el proyecto ya que dicha herramienta contribuyó a eliminar desperdicios detectados en el proceso de la elaboración de los empaques de silicón, como a su vez nos brindó un plan de mantenimiento para los problemas que había dentro del proceso, ya que nos

ayuda a conectar el área de producción con la de mantenimiento de una manera óptima y eficaz. Para poder cumplir con el objetivo del TPM fue también necesario implementar las 5'S y el SMED (Single Minute Exchange of Dies), técnicas que ayudaron a la organización de las áreas en estudio, así como a la reducción del 50% del tiempo de cambio de las herramientas.

Como conclusión el buen desempeño de las herramientas y técnicas de la manufactura esbelta ayudaron a mejorar el flujo de los materiales, aumentar la producción, reducir costos, entregar los productos en tiempo y forma, aumentar la satisfacción de clientes y de los mismos trabajadores y también las ganancias de la empresa, haciéndola competitiva sobre las demás.

## **ABSTRACT**

Today, companies need to be competitive and efficient to stay in the market. The techniques and procedures that comprise the Lean Manufacturing philosophy have become a powerful ally for companies in the search for survival. Executing your tools and techniques in the best way allows you to successfully manage obstacles related to quality, costs and delivery times. The Lean philosophy focuses on the product development process, helping to eliminate waste for the creation of value for customers, who ultimately constitute the most important link in the customer-supplier chain. For the successful application of the Lean philosophy, it is required that all personnel understand and accept its precepts and conditions in order that the knowledge it grants us is really effective.

In this project, some of the tools and techniques of lean manufacturing were applied in a molding area, an improvement process that began with the understanding of the philosophy and continued with the creation of a work team to jointly develop the mapping of the value chain that reflected the beginning and end of the production of silicone packaging. The mapping of the value chain, also known as Value Stream Mapping, mostly called VSM, is essential that it be executed at the beginning of any project, since it illustrates how the process of a family of products is formed, and makes evident the areas in those that require improvement, as well as the appropriate use of tools and / or techniques of lean manufacturing for this purpose.

One of the tools that comprise lean manufacturing used was Total Productive Maintenance, TPM, whose implementation was important for the project since this tool contributed to eliminating waste detected in the process of making silicone packaging, as well as its Once he provided us with a maintenance plan for the problems that existed within the process, as it helps us to connect the production area with the maintenance area in an optimal and efficient way. In order to meet the objective of the TPM, it was also necessary to implement the 5'S and the SMED (Single Minute

Exchange of Dies), techniques that helped the organization of any area, as well as a 50% reduction in the time for changing tools.

In conclusion, the good performance of lean manufacturing tools and techniques helped to improve the flow of materials, increase production, reduce costs, deliver products in a timely manner, increase customer and worker satisfaction, and also the profits of the company, making it competitive over the others.



## **DEDICATORIA**

A mi madre, Yolanda Margarita Valenzuela Hernández, mi padre, José Carlos Aguirre Rosas, que me han apoyado durante mi estancia en la maestría, y me aconsejado de la mejor manera a lo largo de mi vida. Gracias a todos los sacrificios que han hecho para darme la educación que tengo, y que han hecho de mi una persona honesta y responsable. A mi hermano, Carlos Alberto Aguirre Valenzuela, que me ha brindado su apoyo para salir adelante, y por los agradables momentos que vivimos.

A mis abuelos, José Aguirre Martínez, Dominica Rosas Ceceña, Francisco Octavio Valenzuela Esquer, María Yolanda Hernández Reyes, que han sido mi pilar durante estos 25 años. Gracias por sus enseñanzas de la vida, sus buenos deseos, su amor y cariño, son las personas que más admirare en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora de Tesis, María de los Ángeles Navarrete Hinojosa, por haberme brindado su apoyo y asesoría a pesar de haber concluido con sus labores en la universidad, gracias por tenerme paciencia durante mi estancia en la maestría, y por haberme guiado durante mi proyecto. Estoy muy agradecido que haya sido mi directora.

A mis padres, que me apoyaron para concluir con mi maestría, los cuales también me han apoyado en todo en la vida y que siempre estarán ahí para seguir adelante y cumplir mis sueños.

A mi novia Andrea Meza y su familia, por apoyarme y por sus buenos deseos durante mi estancia en la maestría.

Al Ingeniero David Magaña, quien me dio la oportunidad de desarrollar el proyecto en la empresa, por su tiempo y enseñanza de lo necesario para concluir con el proyecto, por su amistad, su amabilidad y comprensión, también a todas las personas del área de moldeo, quienes me orientaron durante mi estancia con ellos.

A mi coordinador de la maestría, Alonso Pérez, por su paciencia, su atención, comprensión y por el gran apoyo que nos otorgó durante el proceso, por su gran compromiso de ayudarnos para poder salir adelanté.

A todos los profesores por sus valiosas enseñanzas que me sirvieron para entender claramente lo que pasaba en las empresas y así poder fortalecer mi proyecto.

Al Departamento de ingeniería industrial y de sistemas por brindarme sus instalaciones y por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por su apoyo económico brindado en mi estudio de posgrado.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Presentación .....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Objetivo general .....	5
1.4 Objetivos específicos .....	5
1.5 Hipótesis .....	5
1.6 Alcances y delimitaciones .....	6
1.7 Justificación.....	6
2 MARCO DE REFERENCIA .....	7
2.1 Historia de la manufactura esbelta.....	7
2.2 El enfoque de la manufactura esbelta .....	8
2.3 Importancia de la manufactura esbelta .....	10
2.4 Herramientas y técnicas de la manufactura esbelta.....	11
2.4.1 Value stream mapping (VSM).....	13
2.4.2 Takt time .....	22
2.4.3 Pitch.....	22
2.4.4 Justo a tiempo (JIT).....	23
2.4.5 5'S .....	24
2.4.6 Cambios rápidos de herramienta (SMED) .....	25
2.4.7 Heijunka.....	25
2.4.8 TPM .....	26

2.4.9	Células de manufactura.....	28
2.5	Evaluaciones de estudios previos de implementaciones de técnicas de manufactura esbelta.....	29
3	METODOLOGÍA.....	32
3.1	Identificar una familia de producto.....	33
3.2	Crear el estado actual de la cadena de valor .....	33
3.3	Crear el estado futuro de la cadena de valor.....	33
3.4	Identificar acciones correctivas .....	34
3.5	Implementar las acciones correctivas .....	34
3.6	Evaluar resultados.....	34
4	IMPLEMENTACIÓN.....	36
4.1	Identificar una familia de producto.....	36
4.2	Crear el estado actual de la cadena de valor .....	45
4.3	Crear el estado futuro de la cadena de valor.....	50
4.4	Identificar acciones correctivas .....	51
4.5	Implementar las acciones correctivas .....	52
4.5.1	Eliminación de las 6 grandes pérdidas .....	53
4.5.2	Planeación del mantenimiento.....	63
4.5.3	Mantenimiento autónomo .....	63
4.5.4	Ingeniería preventiva .....	64
4.5.5	Diseño de producto.....	64
4.5.6	Educación y práctica.....	64
4.6	Evaluar los resultados .....	64
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	70
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Recomendaciones.....	71
5.3	Trabajos futuros .....	71
6	REFERENCIAS .....	74

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Prensa 13 del área de moldeo.....	3
<b>Figura 1.2</b> Prensa 14 del área de moldeo.....	4
<b>Figura 1.3</b> Wabash 1 del área de moldeo.....	4
<b>Figura 2.1</b> Herramientas de la manufactura esbelta, Chen y Cox (2012) .....	14
<b>Figura 2.2</b> Nivel de análisis de la cadena de valor .....	15
<b>Figura 2.3</b> Paso 1 del VSM.....	18
<b>Figura 2.4</b> Paso 2 del VSM.....	18
<b>Figura 2.5</b> Paso 3 del VSM.....	19
<b>Figura 2.6</b> Paso 4 del VSM.....	20
<b>Figura 3.1</b> Metodología para la creación de la cadena de valor (Sawhney, Kannan y Li., 2009) .....	32
<b>Figura 4.1</b> Empaque de silicón .....	36
<b>Figura 4.2</b> Producto final.....	36
<b>Figura 4.3</b> Proceso de los empaques de silicón .....	37
<b>Figura 4.4</b> 700 gramos de silicón.....	37
<b>Figura 4.5</b> Pesado del silicón.....	38
<b>Figura 4.6</b> Bin con cubos de silicón .....	38
<b>Figura 4.7</b> Silicón moldeado .....	39
<b>Figura 4.8</b> Herramientas para los moldes.....	39
<b>Figura 4.9</b> Herramientas para el corte de gate .....	40
<b>Figura 4.10</b> Charola con piezas de silicón .....	40
<b>Figura 4.11</b> Pintado de posición .....	41
<b>Figura 4.12</b> Horno.....	42
<b>Figura 4.13</b> Flujo del proceso de los empaques de silicón .....	43
<b>Figura 4.14</b> Borrador del estado actual.....	47
<b>Figura 4.15</b> Estado actual del VSM .....	49
<b>Figura 4.16</b> Estado futuro del VSM.....	50
<b>Figura 4.17</b> Piezas fabricadas por la operadora 1 .....	54
<b>Figura 4.18</b> Piezas fabricadas por la operadora 2 .....	55

<b>Figura 4.19</b> Diferencia de piezas entre la operadora 1 y 2 .....	56
<b>Figura 5.1</b> Mesa de trabajo, modelo 1 .....	72
<b>Figura 5.2</b> Mesa de trabajo, modelo 2 .....	73

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Conceptos del pensamiento esbelto .....	10
<b>Tabla 2.2</b> Niveles de la manufactura esbelta y técnicas de mejora recomendadas ..	12
<b>Tabla 2.3</b> Ejemplo de una matriz proceso-producto.....	16
<b>Tabla 2.4</b> Iconos del mapa de la cadena de valor, García Cantó y Amador Gandia (2019).....	17
<b>Tabla 2.5</b> Valoración del OEE .....	28
<b>Tabla 4.1</b> Proceso de los diferentes números de parte.....	43
<b>Tabla 4.2</b> Demanda mensual de los 12 números de parte.....	44
<b>Tabla 4.3</b> Moldes y cavidades de los empaques de silicón.....	44
<b>Tabla 4.4</b> Tiempo de llegada del material .....	45
<b>Tabla 4.5</b> Información del proceso .....	45
<b>Tabla 4.6</b> Tiempo disponible para producir .....	46
<b>Tabla 4.7</b> OEE VSM ACTUAL.....	48
<b>Tabla 4.7</b> Tiempo ciclo del proceso de moldeo .....	51
<b>Tabla 4.8</b> Piezas que no son producidas, scrap .....	53
<b>Tabla 4.9</b> Parámetros de la prensa 14 .....	57
<b>Tabla 4.10</b> Parámetros de la prensa 13 .....	57
<b>Tabla 4.11</b> Parámetros de la Wabash 1 .....	57
<b>Tabla 4.12</b> Ejemplo de una tabla para cambiar parámetros.....	58
<b>Tabla 4.13</b> Tiempo de ejecución del Set-Up .....	60
<b>Tabla 4.14</b> División de las actividades del Set-up.....	61
<b>Tabla 4.15</b> Modificación del Set-up, con ayuda del SMED .....	62
<b>Tabla 4.16.</b> Reducción de piezas y frecuencia de las perdidas .....	65
<b>Tabla 4.17.</b> Reducción del tiempo de operación del proceso de moldeo .....	66
<b>Tabla 4.18</b> OEE .....	66
<b>Tabla 4.19</b> OEE antes y después .....	67
<b>Tabla 4.20</b> Mejoras en el proceso de los empaques de silicón.....	68

# 1 INTRODUCCIÓN

El éxito de una empresa, medido por su desempeño económico y su supervivencia en el mercado, es un enorme reto que implica la puesta en marcha de un conjunto de estrategias funcionales que deben ser implementadas con disciplina y eficiencia. Sin embargo, en ocasiones las compañías pasan por alto necesidades y satisfactores de sus clientes, sin ser ésta su intención, teniendo como resultado disgustos y una percepción negativa por parte de ellos, lo que lleva a tener relaciones deterioradas y que se vuelven menos estrechas día con día.

En particular, el área de producción de una compañía es la responsable de cumplir en gran medida con los requerimientos de los clientes. En primera instancia, es allí en donde deben enfocarse los esfuerzos para lograr que los productos manufacturados reúnan los parámetros que los clientes demandan y hacerlo además con una alta productividad para que los costos y tiempos de entrega sean mínimos y la variedad ofrecida sea del agrado del cliente. Para contribuir con este desafío se han desarrollado algunas filosofías y técnicas, una de las cuales, ha probado su eficacia en todo el mundo, es la manufactura esbelta.

En este trabajo de investigación se utilizarán algunas de las técnicas de la manufactura esbelta tales como 5´S, SMED y TPM para disminuir desperdicios e incrementar el tiempo efectivo de uso de las máquinas moldeadoras, las cuales representan la principal operación del total de los productos elaborados en una compañía que produce arneses y conectores para la industria aeroespacial.

El presente capítulo aborda la descripción de la empresa y en particular de la problemática para cual se implementaron técnicas de manufactura esbelta, además, se plantean los objetivos y la hipótesis relacionada a esta investigación.



## 1.1 Presentación

El presente proyecto se realizará en TE Connectivity Aeroespacial sede Hermosillo, Sonora (empresa productora de arneses y conectores para la industria aeroespacial), concretamente, en el área de moldeo donde se fabrican conectores y empaques de silicón, siendo estos últimos los productos más demandados.

El área de moldeo cuenta con una estructura laboral de dos turnos, donde se utilizan tres máquinas (figura 1.1, 1.2 y 1.3) para fabricar los empaques de silicón, con un operador cada una. El proceso para la fabricación de los empaques de silicón es el siguiente: corte de silicón, moldeo, inspección y corte de gate, pintado de posición, horneado, inspección y por último el empaquetado. Se considera que la principal operación es la de moldeo. Las máquinas moldeadoras tardan 9 minutos en moldear el empaque del silicón. Esta operación es requerida por la mayor parte de los productos elaborados en cada turno, por lo que es deseable que las máquinas mantengan alta utilización para poder cumplir con la demanda planeada. Al finalizar cada turno se depositan todos los empaques de silicón procesados en los recipientes para que entren al proceso de horneado, este proceso tarda 8 horas en poder curar los silicones, por lo que el turno posterior es el encargado de sacar los productos del horno, para poder seguir con su proceso.

Dentro del área de moldeo existe un departamento de mantenimiento, el cual se encarga de darle servicio a las máquinas cuando estas lo requieran. Cada día se dan uno a dos servicios a dichas máquinas, lo que disminuye su tiempo efectivo de utilización, debido a que el servicio para los moldes tarda aproximadamente 45 minutos, tiempo en el que la máquina deja de producir afectando la cantidad de productos terminados de los empaques de silicón. Existe mala comunicación entre operadores, técnicos e ingenieros ya que los operadores dejan de producir cuando encuentran una anomalía en la máquina moldeadora y esperan a que el ingeniero o técnico responsable la atienda, observándose un tiempo de respuesta de entre 5 y 10 minutos.

Adicionalmente, las máquinas que moldean los silicones tienen diferentes parámetros, lo que hace que cada molde se corra de diferente forma, situación que provoca que los parámetros registrados por los encargados no siempre sean los reales o no conduzcan a una producción estándar, lo que obliga a los ingenieros encargados a resolver estos problemas durante el día, afectando al plan de producción ya que las máquinas deben parar cada vez que los ingenieros modifican los parámetros.

Por otra parte, también se observa que existe mala comunicación entre la operadora que capacita a las nuevas operadoras lo que atrasa la producción, pues requiere más tiempo del necesario. Por estos problemas el área de moldeo ha extendido los horarios de las operadoras y técnicos con el uso de tiempo extra, lo que afecta económicamente a la empresa por la ineficiencia del área.

Actualmente existe una producción de empaques de silicón que no satisface la demanda de piezas requeridas. Este problema afecta directamente al cliente en virtud de que los tiempos de entrega se extienden o recibe menos productos, por lo que se hace necesario entender las causas de la baja eficiencia del área de moldeo para proponer soluciones y cumplir con el programa de producción esperado.



**Figura 1.1** Prensa 13 del área de moldeo



**Figura 1.2** Prensa 14 del área de moldeo



**Figura 1.3** Wabash 1 del área de moldeo

## **1.2 Planteamiento del problema**

El área de moldeo de una empresa que produce arneses y conectores para una industria aeroespacial presenta dificultades para satisfacer la demanda diaria de los empaques de silicón, situación que resulta afectada por la baja eficiencia de las máquinas de moldeo, las cuales constituyen la operación básica involucrada en la fabricación de estos productos, entre otras razones por la incompetencia en el cumplimiento de los servicios de mantenimiento diarios, la inconsistencia de los parámetros para cada máquina-molde, la ineficiencia en las capacitaciones y a su vez el mal control dentro de los procesos, todo lo cual afecta la cantidad de productos finales y retrasa los tiempos de entrega a los clientes, por lo que se hace necesario recurrir al uso de horas extras de su personal, afectando económicamente a la empresa.

## **1.3 Objetivo general**

Incrementar la productividad del proceso de moldeo de la empresa TE Connectivity Aeroespacial, implementando técnicas de manufactura esbelta para reducir el tiempo del proceso de fabricación de los empaques de silicón.

## **1.4 Objetivos específicos**

- Analizar el área de moldeo para identificar los procesos del empaque de silicón.
- Identificar técnicas de la manufactura esbelta que ayuden a reducir los tiempos de los procesos de fabricación de los empaques de silicón.
- Implementar técnicas de manufactura esbelta seleccionadas.
- Evaluar los resultados de la aplicación de técnicas de manufactura esbelta en el área de moldeo.

## **1.5 Hipótesis**

La implementación de técnicas de manufactura esbelta permitirá agilizar el flujo de los materiales hacia la máquina de moldeo, aumentando la cantidad de productos elaborados y por lo tanto su productividad.

## **1.6 Alcances y delimitaciones**

El proyecto se realizará en el área de moldeo de TE Connectivity aeroespacial, específicamente se trabajará con los empaques de silicón ya que son los más demandados de todos los productos, se analizarán los procesos y el desempeño del personal que conllevan la fabricación de dicho producto, para lo cual se hará uso de algunas de las técnicas de manufactura esbelta.

## **1.7 Justificación**

El área de moldeo de la empresa TE Connectivity Aeroespacial necesita aumentar la cantidad de empaques de silicón, para cumplir con su demanda diaria, así como cumplir a tiempo con los pedidos de los clientes, promoviendo su confianza hacia el área de moldeo. Por esto se ha propuesto la implementación de técnicas de manufactura esbelta para satisfacer las órdenes de producción, hacer un uso eficiente de sus recursos humanos y mejorar los tiempos de atención a sus clientes. Al implementar estas técnicas no solamente aumentará su productividad, sino también la satisfacción de sus clientes, empleados y en general, el prestigio del área de moldeo.

## **2 MARCO DE REFERENCIA**

En este capítulo se mostrará un panorama de la manufactura esbelta, que incluye un repaso de los principios, objetivos y su importancia dentro de la industria. Asimismo, se resumirán herramientas y técnicas que ayudarán a resolver el problema planteado. Se revisará cómo ha ido cambiando la forma en que las empresas se enfocan en resolver problemas de desperdicios, mala calidad, y los retos a los que se enfrentan las empresas actuales.

La industrialización, que tuvo su impacto en la forma de producir los artículos que la sociedad demandaba, comenzó en Gran Bretaña y se extendió a Europa occidental, Estados Unidos y en menor medida a otras áreas del mundo. Ahora, una nueva revolución industrial está surgiendo a partir del inicio del siglo XXI provocando un cambio hacia la personalización masiva. Una de las áreas fundamentales de las empresas manufactureras es precisamente el área productiva, pues de ella depende gran parte de la satisfacción del cliente (Yao y Lin, 2016).

La productividad ha sido un tema muy importante para las empresas manufactureras y al pasar de los años se han buscado herramientas y técnicas para mejorar la situación dentro de ellas. El objetivo de las empresas, aparte de ser rentables, es ser productivas, para lo cual es necesario reducir costos y aprovechar los recursos disponibles.

### **2.1 Historia de la manufactura esbelta**

Después de la Primera Guerra Mundial, Henry Ford y Alfred Sloan (General Motors) cambiaron la manufactura artesanal, utilizada por siglos y dirigida por las empresas europeas por la manufactura en masa. En gran parte como resultado de ello, Estados Unidos pronto dominó la economía mundial.

La Toyota Motor Company fue fundada en 1937. Posteriormente, en 1950 (luego de la Segunda Guerra Mundial) Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, de la fábrica de automóviles Toyota visitaron por tres meses la planta de Rouge de Ford en Detroit. Después de

estudiar cuidadosamente cada centímetro de la planta Rouge, que era la más grande y eficiente del mundo, Eiji indicó a la sede que había encontrado algunas posibilidades para mejorar el sistema de producción. Se encontró que copiar y mejorar lo que había visto en Rouge sería muy difícil, por lo que Eiji Toyoda y Taiichi Ohno concluyeron que la producción en masa no iba a funcionar en Japón. De esta conclusión, nació lo que llamaron “Sistema de Producción Toyota”, a lo que actualmente se le conoce como Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). El surgimiento de Japón a su preeminencia económica actual, rápidamente fue seguido por otras empresas, copiando este notable sistema (Lilian, 2010).

El propósito de este sistema es aumentar la producción utilizando la menor cantidad de recursos posible, disminuyendo el esfuerzo físico, uso del equipo, tiempo, movimiento y el espacio, para agregar valor al producto final. Krijnen (2007) señala que el éxito del sistema Toyota se basa en el uso combinado de los elementos ensamblados que se aplican en la práctica diaria de una manera sistemática.

## **2.2 El enfoque de la manufactura esbelta**

La manufactura esbelta es el enfoque de mejora industrial más conocido, que se originó en el sistema de producción Toyota como un método para reducir sistemáticamente los desperdicios y maximizar el valor en los procesos de manufactura (Bortolotti et al., 2016). Desde sus inicios se enfocó en la aceleración de la cadena de suministros, acortando el tiempo necesario para surtir una orden, llevando a Toyota a mejorar la calidad y a reducir costos, mientras se mejoraba la seguridad y la moral (Krijnen, 2007).

Taj (2008) define la manufactura esbelta como un conjunto de conceptos, principios, métodos, procedimientos y herramientas para reducir las pérdidas en el flujo de valor. Womack, Jones y Roos (1992) definen la manufactura esbelta como la mejor manera de administrar una organización con un enfoque en los empleados, clientes y proveedores. Estos autores sostienen que la producción debe realizarse con menos

esfuerzo físico, menos equipo, menos tiempo y más cantidad. Para lograr lo anterior, mencionan 5 principios de manufactura esbelta:

1. Identificar las características que crean valor.
2. Identificar la cadena de valor.
3. Trabajar en la mejora del “flujo continuo” reduciendo pasos/movimientos innecesarios.
4. Trabajar según la demanda del cliente.
5. Reducir el tiempo de espera del cliente para mejorar su satisfacción.

Para lograr esto dentro de las empresas se tienen que usar herramientas, pasos o metodologías, pero a su vez se tendrá que cambiar la mentalidad y actitud de los trabajadores, supervisores, gerentes, ya que ellos constituyen el pilar del cambio.

Para Shah y Ward (2003) la manufactura esbelta adopta un enfoque de práctica múltiple para garantizar la eficiencia del servicio a través de una interacción sistemática, para que los productos se entreguen al cliente en el momento adecuado y sin desperdicio. Tortorella (2017) considera que la manufactura esbelta es un modelo de negocios que valora al ser humano como el principal elemento humano para la sostenibilidad continua en la organización. La interacción entre los empleados contribuye a la adquisición de conocimientos para apoyar los proyectos futuros de la organización.

En resumen, los conceptos de manufactura esbelta han sido ampliamente reconocidos como una herramienta importante para mejorar la competitividad de las industrias. Este es un proceso continuo que involucra a todos, desde la gerencia hasta los operadores del taller. La fabricación ajustada o producción ajustada, que a menudo se conoce simplemente como Lean, es una práctica de producción que considera el gasto de recursos para cualquier objetivo.

El pensamiento esbelto se enfoca en reducir los desechos y en maximizar o aprovechar al máximo las actividades que agregan valor desde la perspectiva del cliente. El valor es equivalente a todo lo que el cliente está dispuesto a pagar en un



producto o servicio que sigue. En la tabla 2.1 se muestran los conceptos que las empresas industriales deberían tener en cuenta para poder entender el pensamiento esbelto (Womack, Jones y Roos, 1992):

<b>PENSAMIENTO ESBELTO</b>	
Material	Convierta todas las materias primas en productos finales. Trate de evitar el exceso de materias primas y chatarra.
Inventario	Mantenga un flujo constante hacia el cliente y no tener material inactivo
Sobreproducción	Produzca la cantidad exacta que los clientes necesitan y cuándo la necesitan.
Trabajo	Minimice el movimiento injustificado de personas.
Complejidad	Intente resolver los problemas de manera sencilla en lugar de hacerlo de manera compleja. Las soluciones complejas tienden a producir más desechos y son más difíciles de manejar para las personas.
Energía	Utilice equipos y personas de la manera más productiva. Evite las operaciones improductivas y el uso excesivo de energía.
Espacio	Reorganice los equipos, las personas y las estaciones de trabajo para obtener una mejor disposición del espacio.
Defectos	Haga todo lo posible para eliminar los defectos.
Transporte	Elimine el transporte de materiales e información que no agrega valor al producto.

**Tabla 2.1** Conceptos del pensamiento esbelto

## 2.3 Importancia de la manufactura esbelta

Los beneficios de la manufactura esbelta pueden resumirse de la siguiente manera: reducción de desechos; mejora de la productividad y calidad; introducción de prácticas innovadoras para mejorar la competitividad general; inducir buenas prácticas de manejo; aumento de la producción manufacturera; reducción en las quejas de los clientes; mejor adherencia al calendario de entrega; reducción en el rechazo de la calidad en cada etapa del proceso de producción; menores requisitos de inventario en cada etapa de producción; utilización óptima de los recursos en términos de espacio, mano de obra, materiales, utilización de equipos y consumo de energía; lugar de trabajo ordenado; y realizar una cultura de mejora continua (Bhaskaran, 2012).

La implementación de una estrategia de manufactura esbelta permite fortalecer la secuencia de fases que conduce a la excelencia operativa, una mejora continua y la eliminación de actividades sin valor agregado. Por un lado, las empresas buscan perfeccionar la metodología de justo a tiempo, lo cual les trae mejor organización en el área de almacén para poder surtir de manera adecuada a las líneas de producción,

reduciendo tiempos y minimizando costos. Satoglu y Sahin (2013) mencionan que las líneas de ensamblaje no deben satisfacer la demanda del cliente ni tarde ni temprano, ya que la producción temprana incurre en costos de mantenimiento del inventario y la producción tardía causa la pérdida de ventas o el retraso.

## **2.4 Herramientas y técnicas de la manufactura esbelta**

Existen 3 niveles dentro de la manufactura esbelta que es importante analizar ya que en cada nivel existen herramientas y técnicas que ayudarán a cumplir con los beneficios y objetivos que nos brinda la manufactura esbelta, los cuales son: demanda, flujo y nivelación. A continuación, en la tabla 2.2 se mencionan las herramientas y técnicas que conforman cada nivel (Tapping, *et al.*, 2002):

- 1 Demanda del cliente: Se deben tener en cuenta las necesidades del cliente, ya sean en productos o servicios, así como sus características, tiempos de entrega, precios, etc.
- 2 Flujo continuo: Se necesita desarrollar un flujo continuo dentro de la empresa para que los clientes externos o internos tengan sus productos cuando se requieran y que sea el material y la cantidad correcta.
- 3 Nivelación: Tener un plan de producción adecuado para poder distribuir uniformemente el trabajo, así se tendrá menos inventario en proceso o final.

Demanda	Flujo continuo	Nivelación
Mapa del proceso (Value Stream Mapping)	5'S	Medibles de Lean Manufacturing
Takt Time	Balaceo de línea	Retiro constante
Pitch	Células de manufactura	Nivelación de carga (Heijunka)
Takt Image	Trabajo estandarizado	Caja Heijunka - programación
Inventario para controlar proceso	Flujo continuo	El runner - surtidor de materiales
Inventario de seguridad	Jidoka	
Supermercado de producto terminado	Mantenimiento autónomo	
Andón	Mantenimiento productivo total	
	Cambios rápidos (SMED)	
	One Piece Flow -Flujo de una sola pieza	
	Justo a tiempo	
	Sistema Kanban	
	Primeras entradas, primeras salidas (FIFO)	
	Poka Yoke	
	Kaizen	

**Tabla 2.2** Niveles de la manufactura esbelta y técnicas de mejora recomendadas

Para que se lleve a cabo una buena aplicación de estas herramientas y técnicas es recomendable seguir el orden de los niveles, ya que uno de los problemas más relevantes de la implementación de estas herramientas es que los ingenieros a cargo eligen las más fáciles de ejecutar, pero no siempre se obtienen buenos resultados, por otro lado, empiezan con las herramientas más extensas o complejas y las dejan inconclusas.

Al entender los niveles de demanda, un flujo continuo dentro del proceso y de información, y enfocarse en una buena nivelación junto con los mapas de valor, se obtendrán buenos resultados en la implementación de las herramientas y técnicas.

El cliente es quien marca el ritmo, decide como debe ser su producto, la forma en la se debe entregar, dimensiones que debe tener, también es el que decide la parte del

proceso que genera valor y que es lo que no le genera. Ocurre lo mismo con los desperdicios ya que son acciones que no generan valor para el producto y esto el cliente no está dispuesto a pagar.

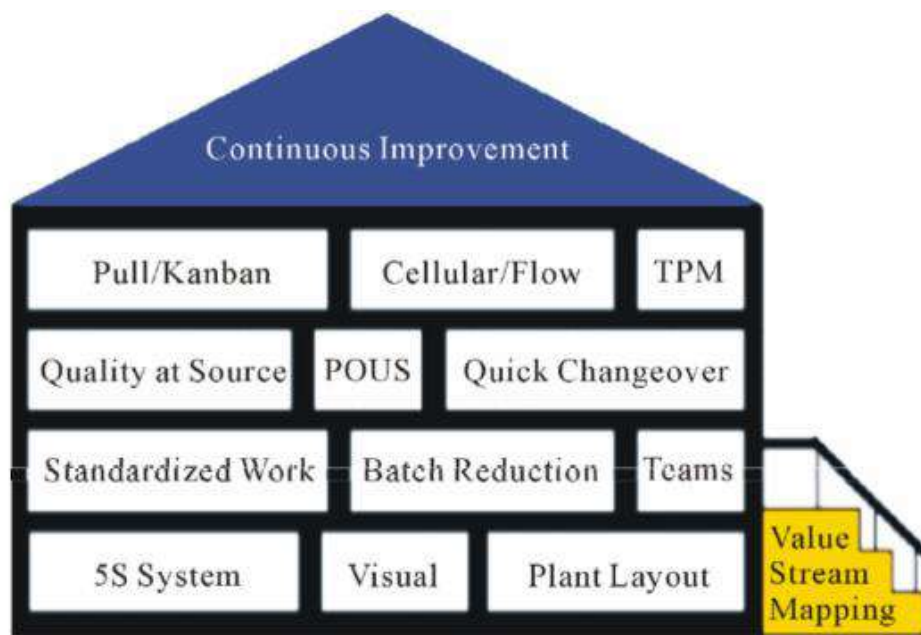
Es necesario identificar las cosas que generan valor y las que no, ya que habría que eliminar las que generen desperdicio, al hacer esto junto con un precio competitivo en el mercado, ayudará a la empresa a cumplir con la demanda y los tiempos de entrega, y a su vez aumentará la confianza con sus clientes, de ahí la importancia de las herramientas y técnicas que se presentarán a continuación.

#### **2.4.1 Value stream mapping (VSM)**

Esta técnica de manufactura esbelta se utiliza para identificar residuos y actividades sin valor agregado. Luego se intenta eliminar o reducir el desperdicio. El mapa de la cadena de valor (traducido al inglés: Value stream mapping, VSM) es una forma visual de identificar el flujo de información en el proceso de producción. El VSM se enfoca en la identificación de fuentes de actividad sin valor agregado (desperdicio) y prioriza futuras mejoras dentro de los procesos (Ikatinasari y Haryanto, 2014). El VSM puede mejorar la comprensión del proceso de toma de decisiones e identificar actividades sin valor agregado. VSM identifica el proceso de estado actual y el proceso de estado futuro y los planes futuros para implementar mejoras en las actividades dentro del área evaluada. VSM contiene información sobre el tiempo, la cantidad de mano de obra, el transporte. Sawhney, Kannan y Li recomiendan seguir estos 6 pasos para la creación del VSM:

1. Identificar una familia de producto
2. Crear el estado actual de la cadena de valor
3. Crear el estado futuro de la cadena de valor
4. Identificar acciones correctivas
5. Implementar las acciones correctivas
6. Evaluar los resultados

VSM es una de las herramientas de la manufactura esbelta más potentes disponibles, combina flujos de producción de materiales con flujos de información de la empresa en un mapa; además, forma la base de un plan de implementación para que la compañía comience su viaje dentro de la estrategia de manufactura esbelta para así poder seguir mejorando, como se muestra en la figura 2.1. Al mapear todos los procesos, los miembros del equipo pueden visualizar más que el nivel del proceso y darse cuenta de la conexión entre el flujo de información y el flujo de material (Chen y Cox, 2012).

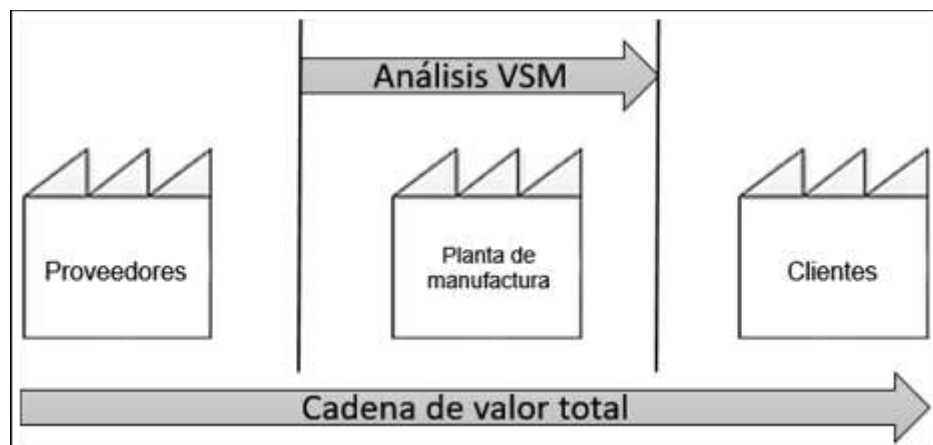


**Figura 2.1** Herramientas de la manufactura esbelta, Chen y Cox (2012)

El VSM inicia con la identificación de una familia de producto; en el área evaluada habrá productos que son los más producidos, o bien, lo más demandados, se observará su proceso para identificar las estaciones de trabajo, y así empezar a hacer el diagrama de flujo para tener un mayor entendimiento. De igual forma se tomará en cuenta en qué máquinas se producen, cuáles son sus características, sus herramientas.

Acto seguido, se iniciará la construcción del mapa de la cadena de valor, para lo que existen iconos que ayudarán a plasmar la información recolectada, posteriormente se

creará un mapa futuro de la cadena de valor donde se concentrará toda la información, se identificarán las acciones correctivas que ayuden a resolver el problema, se ejecutarán y por último se creará un nuevo mapa de la cadena de valor el cual será evaluado para ver las mejoras que se hicieron en el área, así mismo el VSM analiza los tiempos de entrega de los proveedores, el proceso y el tiempo de respuesta a los clientes, identificando lo que genera valor para ellos y lo que no genera valor (figura 2.2).



**Figura 2.2** Nivel de análisis de la cadena de valor

#### 2.4.1.1 Identificar una familia de producto

Para la selección de la familia de producto la empresa debe mencionar algunos aspectos, como identificar los productos que más se producen o cuáles son los que tienen mayor demanda, así mismo tener una matriz de producto/proceso como la que se muestra en la tabla 2.3, ya que pueden existir productos que se realizan en las mismas máquinas o utilizan el mismo herramental, o por el contrario, productos que pudieran ser iguales a simple vista pero son diferentes por sus características de diseño, materiales o proceso de producción.

	PROCESO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
PRODUCTOS	A	X	X	X		X	X		X	X
	B		X	X	X	X	X		X	X
	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D	X		X	X	X		X	X	X
	E	X		X	X	X	X	X		X
	F	X	X	X	X		X		X	

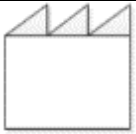


















**Tabla 2.3** Ejemplo de una matriz proceso-producto

La elección de la familia de productos se deberá comentar con los ingenieros involucrados, operadores y técnicos, es necesario que todos apoyen con el proyecto porque cada quien debe cumplir con un rol en específico, así el desarrollo del mapa de la cadena de valor será más sólido y tendrá mejores resultados.

#### **2.4.1.2 Crear el estado actual de la cadena de valor**

Para realizar este dibujo/mapeo es necesario entender el proceso, saber cómo se fabrican los productos elegidos, para poder ir formando el mapa de la cadena de valor, una vez entendido el proceso se pasa a la toma de tiempos de cada uno de ellos, esto para saber el tiempo en el que se realiza la operación, saber cuántos turnos son los que laboran, el número de máquinas, número de operadores, la demanda de cada producto, demoras, distancia y tiempo de los traslados del material, movimientos innecesarios, scrap del material, tiempo de ocio de los operadores, así como el tiempo que tarda en llegar la materia prima de los proveedores, y cuanto tiempo pasa desde que entra la materia prima hasta que es enviada al cliente.

Con esto pudiéramos avanzar y empezar a trabajar con la estructura del mapa de la cadena de valor, para esto debemos entender los símbolos que se utilizan para poder crearlo, los cuales se ven en la tabla 2.4 (García Cantó y Amador Gandia, 2019).

	Fuentes externas: Este símbolo representa clientes y proveedores.		Flecha para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante una secuencia: "primeras entradas, primeras salidas"
	Flecha de traslado: Este símbolo representa el traslado de materias primas y producto terminado. De proveedor a planta o de planta a cliente.		Inventario: De materia prima, producto en proceso, producto terminado.
	Transporte mediante camión de carga.		Información transmitida de forma manual.
	Transporte mediante tren.		Información transmitida de forma electrónica.
	Transporte mediante avión.		Relámpago Kaizen: Este símbolo representa los puntos dónde deben realizarse eventos de mejora enfocados en implementar la herramienta de Lean Manufacturing expresada.
	Operación del proceso.		Kanban de producción.
	Información: Pronóstico, plan de producción, programación.		Kanban de transporte.
	Casillero de datos con indicadores del proceso.		Nivelación de la carga: Herramienta que se emplea para interceptar lotes de Kanbans y nivelar el volumen de la producción.
	Flecha de empuje para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo éste se lleva a cabo mediante un sistema push.		Línea de tiempo: Muestra los tiempos de ciclo de las actividades que agregan valor, y los tiempos de las actividades que no agregan valor.
	Flecha de arrastre para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo éste se lleva a cabo mediante un sistema pull.		

**Tabla 2.4** Iconos del mapa de la cadena de valor, García Cantó y Amador Gandia (2019)



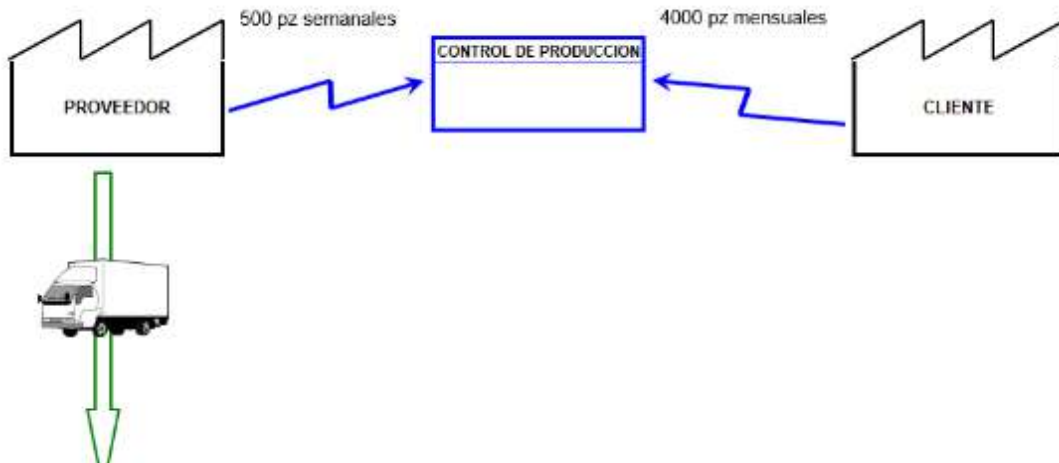
Pasos para la elaboración del mapa actual de la cadena de valor (García Cantó y Amador Gandia, 2019):

- 1) Empezar por el cliente, y la cantidad mensual requerida de la familia de producto seleccionada, después conectados el flujo de información (electrónica o manual), es el medio por donde se contacta el cliente con el control de producción, el control de producción se conecta con el proveedor, para pasar la información de los envíos que realiza de las provisiones del material (figura 2.3).



**Figura 2.3** Paso 1 del VSM

- 2) Representar el transporte que es utilizado para que llegue el material al almacén de la empresa, poner los días que tarda en llegar el material al almacén de la empresa (figura 2.4).



**Figura 2.4** Paso 2 del VSM

- 3) Con apoyo de las figuras que nos brinda el VSM podemos ir dibujando el proceso, con sus inventarios en proceso, tiempos de ciclo, tiempo de máquina, setups, porcentaje de scrap, esto para cada operación que lleva a la fabricación

del producto, en medio de cada cuadro de operación se pone el material en proceso poniéndolo con la figura del triángulo y la cantidad (figura 2.5).

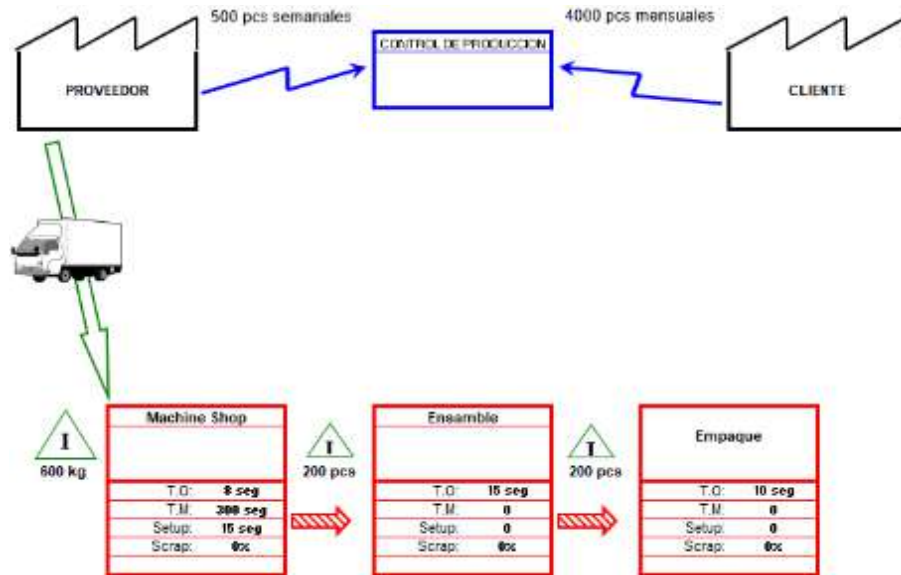


Figura 2.5 Paso 3 del VSM

- 4) Por último, representamos la línea del tiempo, existen dos tiempos, el de arriba, que es el tiempo que no agrega valor y el de abajo, el tiempo que agrega valor.

El tiempo que no agrega valor: iniciamos sumando los días que tarda el material en llegar al almacén de la empresa, de ahí partimos y sumamos el inventario en proceso, este es representado en tiempo y forma parte del tiempo que no agrega valor, para poder calcularlo es necesario dividir la cantidad de cada inventario en proceso entre la cantidad diaria requerida por el cliente, así con todos los inventarios en proceso y al final sumamos los días sumados. El tiempo que agrega valor: iniciamos en la primera operación, dividiendo los segundos que tarda en realizar la operación y lo dividimos por la cantidad de piezas realizadas, este tiempo es reflejado en segundos, así mismo con las otras operaciones del proceso, al final es sumado. Los dos tiempos se representan al final de la línea de tiempo que sirven como indicadores para los ingenieros (figura 2.6).

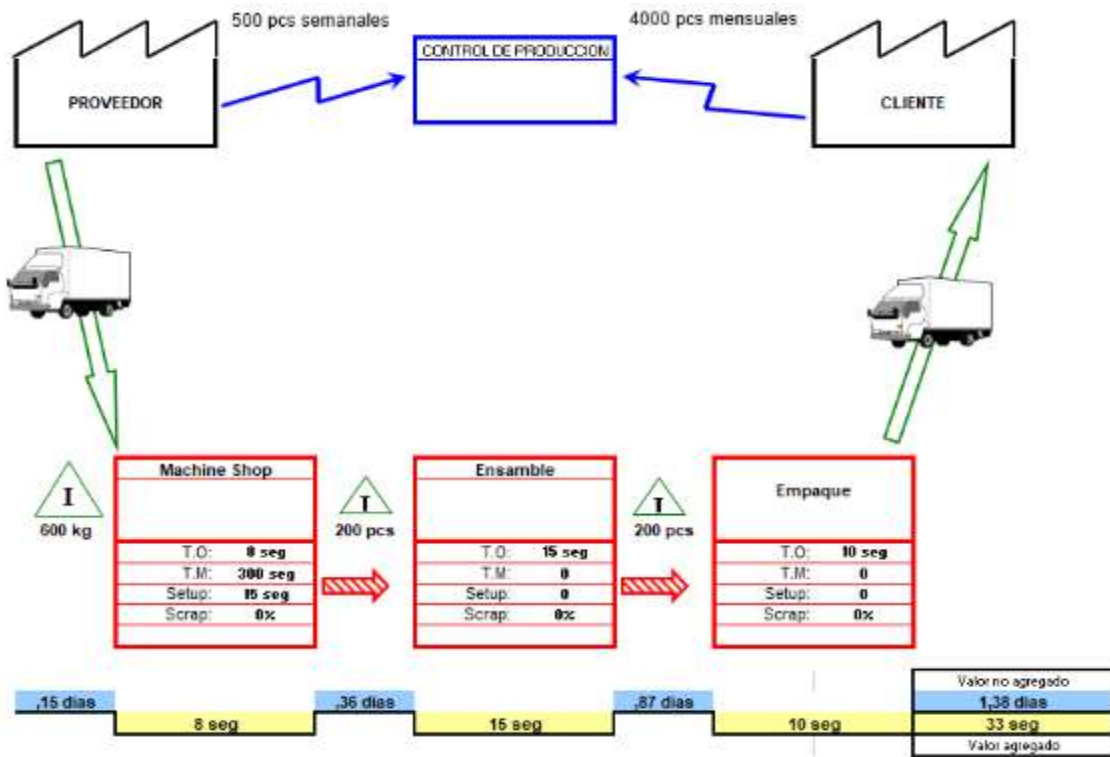


Figura 2.6 Paso 4 del VSM

Después de realizar el mapa de la cadena de valor es necesario realizar los cálculos del Takt Time (sección 2.4.2). Este tiempo se compara con el “tiempo que agrega valor” del VSM, se requiere que cada operación esté cerca del tiempo dado por el takt time, si por algunas circunstancias no se puede, es necesario trabajar con el Pitch (sección 2.4.3), con él podremos fabricar lotes con pequeñas cantidades, pero siguiendo con el flujo continuo.

### 2.4.1.3 Crear el estado futuro de la cadena de valor

El estado futuro del mapa de la cadena de valor simplemente es un análisis del estado actual, donde se reúnen los ingenieros, operadores y técnicos, para entender cómo se encuentra su proceso, tomando en cuenta a proveedores y clientes. En donde mencionan algunas acciones correctivas que puedan ayudar a eliminar los desperdicios detectados.

#### **2.4.1.4 Identificar acciones correctivas**

Este paso del mapa de la cadena de valor es muy importante ya que de aquí parte la mejora del área evaluada para esto se pide la participación de los ingenieros, operadores y técnicos, ya que los operadores pudieran saber más de las situaciones que pasan a menudo en los productos, los técnicos son especialistas en las máquinas o herramienta utilizadas y los ingenieros tienen noción de las posibles mejoras.

Este es el inicio de la aplicación de otras herramientas o técnicas de la manufactura esbelta, con el objetivo de eliminar los desperdicios detectados dentro del área. No todas las herramientas y técnicas se pueden aplicar, pero se busca que se implementen las indicadas para el sistema de producción con el que estén fabricando.

Algunas de las acciones correctivas pueden ser a corto, mediano o largo plazo, dependiendo de la importancia que le den a cada una, es necesario que cada semana se reúnan las personas involucradas en el proyecto, a cada persona se le asignará una tarea, ya que con la ayuda de todos será más fácil la aplicación y tendrán mejores resultados, dichas tareas se verán en la reunión de cada semana para mostrar lo que se requirió.

#### **2.4.1.5 Implementar las acciones correctivas**

Una vez analizadas e identificadas las acciones correctivas se pasa a la aplicación de ellas, se sugiere seguir con las reuniones semanales para ir recolectando la información que se requiera para la aplicación de las herramientas y técnicas seleccionadas, para algunos será algo nuevo y tedioso ya que muchas empresas no desarrollan este tipo de herramientas o técnicas. Se puede empezar con algunas herramientas básicas de la manufactura esbelta, como lo son las 5's, ayudas visuales, realizar una producción con flujo continuo, SMED, TPM, entre otras ya mencionadas en el documento, siguiendo la filosofía de justo a tiempo. Es necesario concientizar a las operadoras, técnicos e ingenieros a seguir con las mejoras y las reuniones, para esto se requerirá de su total disposición.

#### **2.4.1.6 Evaluar los resultados**

Después de realizar la implementación de las herramientas y técnicas de la manufactura esbelta seleccionadas se tendrá que evaluar cómo éstas impactaron en la mejora del área evaluada. Si es posible seguir mejorando o implementar otra herramienta que vean que puede ser factible para seguir mejorando, es necesario el seguimiento de las herramientas aplicadas para que éstas no se olviden. También se puede seguir con otra familia de producto que tengan en el área, e implementar la misma metodología.

#### **2.4.2 Takt time**

“Takt” es una palabra en alemán que significa “ritmo”, y se define como la tasa a la que una empresa debe producir un producto para satisfacer la demanda de sus clientes. Se calcula dividiendo el tiempo de trabajo disponible por día (en minutos o segundos) entre la demanda del cliente por día (en unidades relevantes).

(1).  $\text{Takt time} = \text{Tiempo de trabajo disponible por día} / \text{Demanda del cliente por día}$ .

(2).  $\text{Takt time} = \text{Tiempo} / \text{Volumen}$

Para poder calcular el tiempo de trabajo disponible es necesario excluir el tiempo que tienen los trabajadores para ir a desayunar/comer, paros planeados, juntas, o cualquier otro tiempo que tengan contemplados para interrumpir la producción (Jeyaraj *et al.*, 2013).

#### **2.4.3 Pitch**

Pitch es una cantidad de piezas por unidad de tiempo, basándose del Takt Time para poder formar paquetes, pequeños lotes, batch, con cantidades predeterminadas de trabajo en proceso. En consecuencia, pitch es el takt time del producto y la cantidad de unidades en el paquete, dichas unidades pueden ser iguales o diferentes para cada producto.

(3)  $\text{Pitch} = \text{Takt time} \times \text{cantidad de unidades en el paquete}$ .

El cálculo del Pitch es un compromiso de la producción por lotes y la implementación de un flujo continuo. Se recomienda usar el pitch cuando el tiempo del takt time es muy bajo, ya que no se podrá manipular adecuadamente el producto o bien, cuando el proceso lo requiere (Rüttimann, 2018).

#### **2.4.4 Justo a tiempo (JIT)**

Just-in-Time (JIT) es una técnica que desde su concepción hace unas décadas, se ha aplicado ampliamente para apoyar objetivos de la manufactura esbelta. JIT significa producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta (García-Alcaraz y Maldonado-Macías, 2016).

La filosofía de JIT se basa principalmente en reducir el desperdicio, mejorar y mantener la excelencia en la calidad de los productos o servicios, que solo son posibles con el compromiso (lealtad) de cada miembro de la organización involucrada, y con un fuerte enfoque de estos miembros en sus tareas particulares (participación en el trabajo). Esto debería conducir a una mayor productividad del sistema de producción, menores costos por unidad de producto, calidad, mayor satisfacción del cliente, mayores ventas, pero sobre todo, mayores ganancias para la compañía, que es el objetivo final (Fullerton y McWatters, 2001).

El concepto tradicional de JIT, principalmente asociado con los tiempos de entrega, no es completamente exacto, ya que como filosofía va mucho más allá (Fiedler, Galletly y Bicheno, 1993).

De hecho, el JIT como técnica aplicada a los sistemas de producción no está aislado; se integra con muchas otras técnicas. Además, algunos autores ubican a JIT dentro de las principales herramientas de la manufactura esbelta (Barcelli-Gómez, 1999).

La esencia del JIT es “hacer que el valor fluya para que el cliente pueda jalarlo” y para poder hacer esto es necesario saber de dos herramientas de la manufactura esbelta que son los componentes bases del JIT: Kanban y Heijunka y a su vez, estas dos herramientas dependen de: Los cambios rápidos (SMED), administración visual (5'S),

procesos capaces, es decir trabajadores, métodos y máquinas capaces (García-Alcaraz y Maldonado-Macías, 2016).

Trabajadores capaces: que tengan multi-habilidades y que sean capaces de ser rotados en los trabajos, además que se involucren en la mejora continua.

Métodos capaces: estandarizar el trabajo, que se detengan cuando se encuentren defectos, fáciles de trabajar y de poder identificar defectos.

Máquinas capaces: tener un programa de mantenimiento adecuado (TPM) y 5'S que ayuden a atacar los 6 desperdicios (fallas de equipo, retrasos por mantenimiento o ajustes, set-ups, paros menores, disminución de velocidad, defectos en proceso y producto).

#### **2.4.5 5'S**

La metodología de mejora 5'S es una herramienta de la manufactura esbelta que está orientada a eliminar suciedad y desorden ayudando a identificar movimientos/acciones que no generen valor en el producto. Como resultado de su aplicación se obtiene una mejora en las áreas evaluadas, teniéndolas limpias, ordenadas, con una mejor visión del área y facilidad de búsquedas dentro de la mesa de trabajo ayudando a mejorar la cultura del trabajo con el personal. Sus iniciales en japonés significan (Barcia, 2014):

- a) *Seiri*: Clasificación, diferenciar entre elementos necesarios e innecesarios.
- b) *Seiton*: Organización, disponer en forma ordenada todos los elementos que quedan después del Seri.
- c) *Seiso*: Limpieza, mantener limpias las máquinas y los ambientes de trabajo.
- d) *Seiketsu*: Estandarizar, practicar continuamente los 3 pasos anteriores.
- e) *Shitsuke*: Seguir mejorando, construir la autodisciplina y formar el hábito de comprometerse en las 5'S mediante el establecimiento de estándares.

### **2.4.6 Cambios rápidos de herramienta (SMED)**

La metodología Single Minute Exchange of Die (SMED) hace posible realizar operaciones de configuración del equipo (cambio) en menos de 10 minutos, es decir, realizar los cambios en un solo dígito (Boran y Ekincioğlu, 2017).

Se puede considerar como una de las herramientas de la manufactura esbelta. Reduce el desperdicio y mejora la flexibilidad en los procesos de fabricación, permitiendo la reducción del tamaño del lote y las mejoras de flujo. Reduce el tiempo no productivo al agilizar y estandarizar las operaciones para las herramientas de intercambio, utilizando técnicas simples y aplicaciones fáciles (Morales Méndez y Silva Rodríguez, 2016).

En el método SMED convencional, las actividades de configuración se realizan principalmente mediante mejoras en las máquinas; sin embargo, no sólo las máquinas sino también los operadores participan en el proceso de configuración. Una falta importante de la metodología SMED es la consideración y motivación de los operadores (Boran y Ekincioğlu, 2017).

Existen dos operaciones dentro de este método convencional (Tekin *et al.*, 2019):

Operaciones internas: son operaciones que solo se pueden hacer cuando la máquina está parada, como montar y desmontar dados, cambios de herramienta.

Operaciones externas: son operaciones que pueden realizarse cuando la máquina está en operación, como transportar los dados del almacén a la máquina o dejar los dados que se desmontaron en el almacén.

### **2.4.7 Heijunka**

Heijunka es una de las herramientas de manufactura esbelta y sirve para nivelar la producción de acuerdo al comportamiento real de la demanda, esto permite que la producción satisfaga eficientemente la demanda de los clientes, así mismo los inventarios se reducen lo que ayuda a reducir los costos de producción, mano de obra, y plazos de entrega a través de todo el flujo de valor (İşler y Güner, 2014).



### 2.4.8 TPM

Mantenimiento productivo total (TPM) está diseñado para maximizar la efectividad del equipo (mejorando la eficiencia general) mediante el establecimiento de un sistema integral de mantenimiento productivo que cubra toda la vida útil del equipo, abarcando todos los campos relacionados con el equipo (planificación, uso, mantenimiento, etc.), para lo cual es importante contar con la participación de todos empleados desde la alta gerencia hasta los trabajadores de la planta. En síntesis, para promover el mantenimiento productivo se requiere de la gestión de la motivación o actividades voluntarias de grupos pequeños (Chan *et al.*, 2005).

En general, consiste en 6 actividades:

1. Eliminación de las 6 grandes pérdidas
  - 1.1. Falla en el equipo
  - 1.2. Paros menores
  - 1.3. Pérdida de velocidad
  - 1.4. Set-Up
  - 1.5. Reducción de desperdicios de la materia prima
  - 1.6. Defectos y retrabajos
2. Planeación del mantenimiento
3. Mantenimiento autónomo
4. Ingeniería preventiva
5. Diseño de producto
6. Educación y práctica

Un enfoque estratégico para mejorar el desempeño de las actividades de mantenimiento es adaptar e implementar efectivamente iniciativas estratégicas de TPM en las organizaciones de fabricación. TPM enfoca el mantenimiento como una parte necesaria y vitalmente importante del negocio. La iniciativa TPM tiene como objetivo mejorar la competitividad de las organizaciones y abarca un enfoque estructurado y poderoso para cambiar la mentalidad de los empleados, haciendo así un cambio visible en la cultura laboral de una organización. TPM busca involucrar a

todos los niveles y funciones en una organización para maximizar la efectividad general de los equipos de producción. Este método afina aún más los procesos y equipos existentes al reducir errores y accidentes. TPM es una iniciativa de fabricación de clase mundial que busca optimizar la efectividad de los equipos de fabricación. Mientras que los departamentos de mantenimiento son el centro tradicional de los programas de mantenimiento preventivo, TPM busca involucrar a los trabajadores de todos los departamentos y niveles, incluidos los de la planta así como los altos ejecutivos, para garantizar la operación efectiva del equipo (Ahuja y Khamba, 2008).

TPM ha sido ampliamente reconocido como un arma estratégica para mejorar el rendimiento de fabricación al mejorar la efectividad de las instalaciones de producción (Dwyer, 1999; Dossenbach, 2006). TPM ha sido aceptado como la estrategia más prometedora para mejorar el rendimiento de mantenimiento para tener éxito en un mercado altamente exigente (Nakajima, 1988). TPM es la estrategia de fabricación probada que se ha empleado con éxito a nivel mundial durante las últimas tres décadas, para lograr los objetivos organizacionales de lograr la competencia central en el entorno competitivo (Ahuja et al., 2004). TPM es una técnica altamente influyente que se encuentra en el núcleo de la "gestión de operaciones" y merece atención inmediata por parte de organizaciones de todo el mundo (Voss, 2005).

#### **2.4.8.1 OEE**

La eficiencia general del equipo, mayormente conocida como OEE por sus siglas en inglés (overall equipment effectiveness) es un métrico que ayuda a entender la eficiencia de las máquinas, así mismo es un complemento de la herramienta TPM de la manufactura esbelta (Ahuja y Khamba, 2008).

La medición OEE es una forma eficaz de analizar la eficiencia de una sola máquina o un sistema de fabricación integrado. Es una función de la disponibilidad, la tasa de rendimiento y la tasa de calidad. El valor del OEE se mide en porcentaje, en la tabla 2.5 se menciona la valoración de dicho porcentaje.

Se calcula de la siguiente manera.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia} \times \text{Calidad}$$

Donde:

$$\text{Disponibilidad} = (\text{Tiempo disponible} - \text{Averías}) / \text{Tiempo disponible}$$

$$\text{Tiempo disponible} = \text{Tiempo total} - \text{Tiempo planeado}$$

*Tiempo planeado = tiempo que se requiere para salir a comer, descansar o alguna otra actividad que se planee.*

$$\text{Eficiencia} = \text{Producción real} / \text{Capacidad productiva}$$

$$\text{Calidad} = (\text{Producción real} - \text{Producto defectuoso}) / \text{Producción real}$$

OEE	Valoración	Descripción
0% - 64%	Deficiente	Se producen grandes pérdidas económicas
65% - 74%	Regular	Se considera que debe mejorar bastante. Bajas pérdidas económicas
75% - 84%	Aceptable	Tiene que seguir mejorando. Ligeras pérdidas económicas
85% - 94%	Buena	Buena competitividad
95% - 100%	Excelente	Valores de clase mundial

**Tabla 2.5** Valoración del OEE

### 2.4.9 Células de manufactura

Una célula de manufactura (CM) o grupo tecnológico (GT) es un grupo de máquinas o procesos de tipos funcionalmente diferentes que se colocan físicamente juntos y se dedican a la fabricación de una gama específica de piezas. Tal disposición difiere significativamente de la configuración del taller de trabajo tradicionalmente empleada en la fabricación por lotes (Wemmerlöv y Hyer, 1986). Las células de manufactura han comenzado recientemente a recibir una mayor atención en todo el mundo. Sin lugar a dudas, este mayor interés en las células está en parte relacionado con la aparición de tecnologías modernas de fabricación (como la robótica y los sistemas de fabricación flexibles) que abarcan los conceptos de las células de manufactura, y en parte con el uso de células en empresas japonesas exitosas. La fabricación con este tipo de diseño, ya sea automatizada o no, puede tener un impacto positivo en las operaciones de la empresa. Este sistema de fabricación genera un mejor rendimiento de entrega, plazos

de entrega más cortos, inventarios de trabajo en proceso reducidos, mejor calidad del producto y mayor responsabilidad organizacional como algunos de los beneficios más importantes derivados del uso de células. (Wemmerlöv y Johnson, 1997).

Las células de manufactura, es una estrategia de fabricación innovadora derivada del concepto de grupos tecnológicos, que se puede utilizar para mejorar tanto la flexibilidad como la eficiencia en los entornos de fabricación competitivos modernos de la actualidad, como los sistemas de fabricación flexible (FMS) y la producción justo a tiempo (JIT). Algunos beneficios de la implementación de CM son la reducción del tiempo de configuración, la reducción de inventario de trabajo en proceso, la reducción de costos de manejo de materiales, la mejora de la utilización de la máquina y la mejora de la calidad. El diseño de un sistema de fabricación celular (CMS) implica (Kia *et al.*, 2012):

- 1) Formación de células (CF); agrupar piezas con requisitos de procesamiento similares en familias de piezas y máquinas correspondientes en células de máquina.
- 2) Diseño de grupo (GL); diseñando máquinas dentro de cada celda, denominadas diseño intracelular, y celdas entre sí, denominadas diseño intercelular.
- 3) Programación grupal (GS); programación de familias de piezas.
- 4) Asignación de recursos; asignar herramientas y recursos humanos y materiales.

## **2.5 Evaluaciones de estudios previos de implementaciones de técnicas de manufactura esbelta**

Las herramientas y principios de la manufactura esbelta han sido ampliamente utilizados en muchos tipos de industrias (Herrera, 2019). Especialmente el VSM, es una técnica de manufactura esbelta que desde su creación se ha expandido a varios sectores además del manufacturero, pues además de ser sencillo de aplicar se puede utilizar en entornos variados.

Una empresa productora de bicicletas en la India, realizó una investigación de la fabricación de sus vehículos de dos ruedas, en la que implementaron un VSM para

identificar sus desperdicios y poder reducirlos para hacer más eficiente su proceso de producción, con lo cual se observó que el tiempo de producción disminuye significativamente de 3.215 días a 0.54 días y el tiempo de procesamiento también se reduce de 15.67 a 14.13 minutos. El tiempo del proceso de lubricación también se minimizó de 60 segundos a 30 segundos al introducir una instalación de pistola rociadora (Seth y Gupta, 2005).

Carmignani (2017) presenta una metodología innovadora para mejorar el proceso de gestión de desecho de suministros, basada en el mapeo de flujo de valor (VSM). VSM es una de las mejores herramientas para mapear un proceso y eliminar sus problemas críticos, que produce buenos resultados si se aplica a los procesos de producción. El enfoque propuesto toma el nombre de Scrap Value Stream Mapping (S-VSM) e integra conceptos de VSM y otras herramientas de Lean Production (LP) y World Class Manufacturing. Está estructurado en cinco pasos:

- (1) Identificación de las fronteras del proceso y categorías de pérdida
- (2) Mapeo del estado actual
- (3) Análisis de residuos y cuestiones críticas
- (4) Mapeo del estado futuro
- (5) Monitorear los efectos de las mejoras implementadas

En el último paso, se define una metodología para monitorear los efectos de las mejoras implementadas. Se analizó el espacio de almacenamiento para poder reducir costos, detectando desperdicios dentro del espacio, como resultado se obtuvo una reducción de € 911 de los costos de almacenamiento y los costos de riesgo de inventario. Además, con las mejoras implementadas y esta metodología de monitoreo, será posible mantener estos costos bajos a través de la identificación de los componentes de chatarra más críticos y su rápida devolución al proveedor.

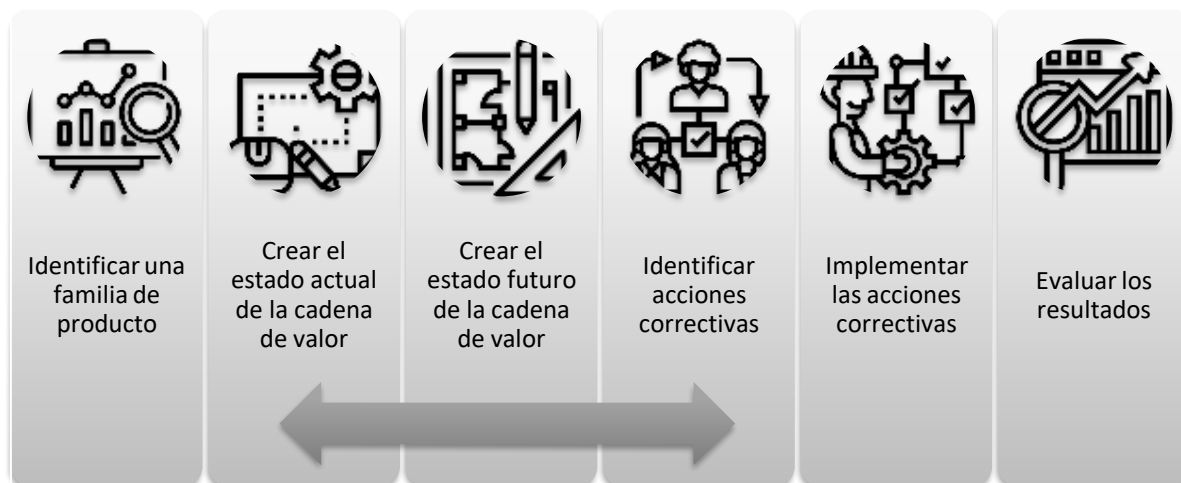
Chen y Cox (2012) mencionan que aunque Lean fue presentado inicialmente por la industria del automóvil, sus principios se han extendido más recientemente a otras industrias. Hay una variedad de compañías que han experimentado las ventajas de aplicar Lean en su área de fabricación. Por ejemplo, Lean fue aplicado por Boeing para

eliminar el desperdicio y hacer que sus productos sean más competitivos en costos. Después de implementar Lean, Boeing redujo exitosamente sus costos de defectos en un 75 por ciento, lo que resultó en un ahorro de costos de aproximadamente \$ 655,000 por avión.

### 3 METODOLOGÍA

Después de haber revisado y analizado el marco de referencia podemos seleccionar la siguiente metodología que ayudará a resolver el problema planteado. Para justificar la metodología planteada, es necesario remitirse al concepto del enfoque esbelto y empezar con el desarrollo del mapa de la cadena de valor (VSM) que servirá para analizar el área e identificar los desperdicios. Una vez que se cuenta con el VSM se podrán realizar acciones correctivas como las consideradas en la filosofía justo a tiempo, lo que requerirá utilizar algunas herramientas y técnicas de la manufactura esbelta.

En la figura 3.1 se muestra la metodología propuesta para el presente trabajo con las etapas que la componen, basada principalmente en el modelo de solución sencillo (Sawhney, Kannan y Li, 2009), con algunas técnicas que se añadieron para dar apoyo al mejor manejo del problema presente. La metodología inicia haciendo un análisis profundo de las características del problema, así como también de las soluciones ofrecidas por varias técnicas de la manufactura esbelta, con esto se busca ofrecer una alternativa de mejora de acuerdo a las circunstancias particulares aquí tratadas, siendo, a su vez, adaptable a otras situaciones en las que se busque mejorar.



**Figura 3.1** Metodología para la creación de la cadena de valor (Sawhney, Kannan y Li., 2009)

### **3.1 Identificar una familia de producto**

La metodología comenzará con identificar una familia de productos. Tal y como se mencionó en el capítulo del marco de referencia, para lograr esta identificación, se seleccionarán aquellas familias con las demandas más altas. La elección de la familia de producto se deberá comentar con los ingenieros involucrados, operadores y técnicos, pues es necesario que todos apoyen con el proyecto porque cada quien debe cumplir con un rol en específico, así el desarrollo del mapa de la cadena de valor será más sólido y tendrá mejores resultados.

Acto seguido se observará su proceso para identificar las estaciones de trabajo, y así empezar a hacer el diagrama de flujo para tener un mayor entendimiento. De igual forma se tomará en cuenta en que máquinas se hacen, cuáles son sus características, sus herramientas, etc.

### **3.2 Crear el estado actual de la cadena de valor**

En el segundo paso de la metodología, se iniciará la construcción del mapa de la cadena de valor de acuerdo al marco teórico, para lo cual se debe proceder a la toma de tiempos de cada uno de los procesos involucrados, esto para saber el tiempo en el que se realiza la operación, y se debe investigar también cuántos turnos son los que laboran, el número de máquinas, número de operadores, la demanda de cada producto, demoras, distancia y tiempo de los traslados del material, movimientos innecesarios, scrap del material, tiempo de ocio de los operadores, así como el tiempo que tarda en llegar la materia prima de los proveedores, y cuanto tiempo pasa desde que entra la materia prima hasta que es enviada al cliente. Después se realizan los cálculos del Takt Time y del Pitch Time, con el cual podremos fabricar lotes con pequeñas cantidades, pero siguiendo con el flujo continuo.

### **3.3 Crear el estado futuro de la cadena de valor**

El tercer paso de la metodología tiene que ver con la creación del mapa futuro de la cadena de valor donde se concentrará toda la información que surja de las reuniones con los ingenieros, operadores, técnicos y tomando en cuenta a proveedores y clientes.



### **3.4 Identificar acciones correctivas**

En el cuarto paso de la metodología, se identificarán las acciones correctivas que ayuden a resolver el problema. Este es el inicio de la aplicación de otras herramientas o técnicas de la manufactura esbelta, con el objetivo de eliminar los desperdicios detectados dentro del área. No todas las herramientas y técnicas incluidas dentro de la filosofía se pueden aplicar, pero se busca que se implementen las indicadas para el sistema de producción con el que estén fabricando.

Algunas de las acciones correctivas podrán ser a corto, mediano o largo plazo, dependiendo de la importancia que le den a cada una, es necesario que cada semana se reúnan las personas involucradas en el proyecto, a cada persona se le asignará una tarea, ya que con la ayuda de todos será más fácil la aplicación y tendrán mejores resultados, dichas tareas se verán en la reunión de cada semana para mostrar lo que se requirió.

### **3.5 Implementar las acciones correctivas**

Una vez analizadas e identificadas las acciones correctivas se pasa a la aplicación de ellas, para lo cual se sugiere seguir con las reuniones semanales para ir recolectando la información que se requiera para la aplicación de las herramientas y técnicas seleccionadas, para algunos será algo nuevo y tedioso ya que muchas empresas no desarrollan este tipo de herramientas o técnicas. Se puede empezar con algunas herramientas básicas de la manufactura esbelta, como lo son las 5's, ayudas visuales, realizar una producción con flujo continuo, SMED, TPM, entre otras ya mencionadas en el documento, siguiendo la filosofía de justo a tiempo. Es necesario concientizar a las operadoras, técnicos e ingenieros a seguir con las mejoras y las reuniones, y contar con su total disposición.

### **3.6 Evaluar resultados**

Después de realizar la implementación de las herramientas y técnicas de la manufactura esbelta seleccionadas se tendrá que evaluar cómo éstas impactaron en la mejora del área evaluada, lo cual constituye el último paso de la metodología. Si es

posible seguir mejorando o implementar otra herramienta que pueda resultar de utilidad. De cualquier forma, es necesario dar seguimiento a las herramientas aplicadas para que éstas no se olviden. También se puede seguir con otra familia de productos que tengan en el área e implementar la misma metodología.

## 4 IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se presentan los métodos y medidas que fueron utilizados para realizar el mapeo de la cadena de valor con el fin de proponer e implementar técnicas de manufactura esbelta. De acuerdo con lo establecido en la sección anterior, se mostrará cómo la estructura previamente propuesta fue adaptada a las circunstancias que fueron surgiendo mientras la misma se fue aplicando gradualmente en la realidad.

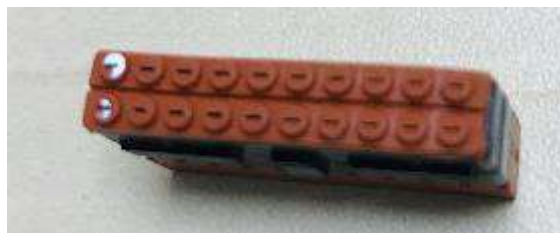
### 4.1 Identificar una familia de producto

En el área de moldeo se utilizan resinas y silicones para fabrican alrededor de 50 números de parte, los cuales se dividen en 7 familias de productos. Con ayuda de los ingenieros involucrados se seleccionó una familia de producto que consta de 12 números de parte, todos estos son productos de silicón y su función es aislar la corriente. En la figura 4.1 se muestra un producto.

El área de moldeo fabrica sólo subcomponentes que pasan a otras áreas dentro de la empresa para que se conviertan en un producto final como se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.1** Empaque de silicón



**Figura 4.2** Producto final

Después de la selección del producto se analizó el proceso de estos números de parte, en la figura 4.3 se muestra el proceso, dicho proceso es el mismo para todos los números de parte con una pequeña excepción, el pintado.



**Figura 4.3** Proceso de los empaques de silicón

- 1) **Presado del silicón:** El proveedor manda el silicón (EM9163-000) en cajas, éstas se guardan en un refrigerador en el área de moldeo, dentro de estas cajas se encuentran 9 kilogramos de silicón divididas en pequeñas partes de 700 gramos como se muestra en la figura 4.4,



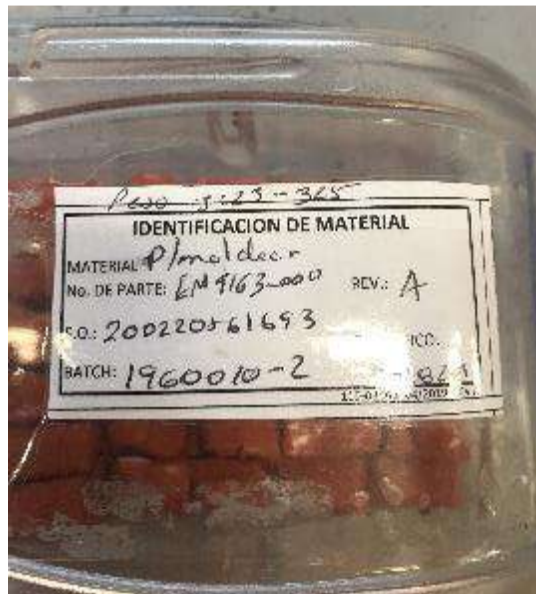
**Figura 4.4** 700 gramos de silicón

Para poder procesar el silicón es necesario cortar pequeñas partes en forma de cubos, en diferentes tamaños dependiendo del número de parte, que después se pesan en una báscula, de ahí se colocan en un bin con los cubitos de silicón para después procesarlos (figura 4.5).



**Figura 4.5** Pesado del silicón

Dentro del bin caben aproximadamente 20-25 cubos de silicón, cuando les sobra tiempo a las operadoras llenan el bin con los cubos de silicón, al finalizar su turno es necesario que el bin se encuentre lleno para que el otro turno no pierda tiempo en pesar el silicón (figura 4.6).



**Figura 4.6** Bin con cubos de silicón

- 2) Moldeo: Los cubos de silicón ingresan a las prensas, ya sea la prensa 13, 14 o la Wabash 1, aquí tarda 9 minutos para que el silicón se distribuya por el molde a cierta temperatura y presión, cada número de parte se produce con diferentes parámetros. Al pasar los 9 minutos la operadora retira el molde (figura 4.7), para

sacar el silicón moldeado con ayuda de herramientas (figura 4.8), después se limpia con un cepillo y aire comprimido el molde y la máquina, para ingresar otro cubo de silicón.



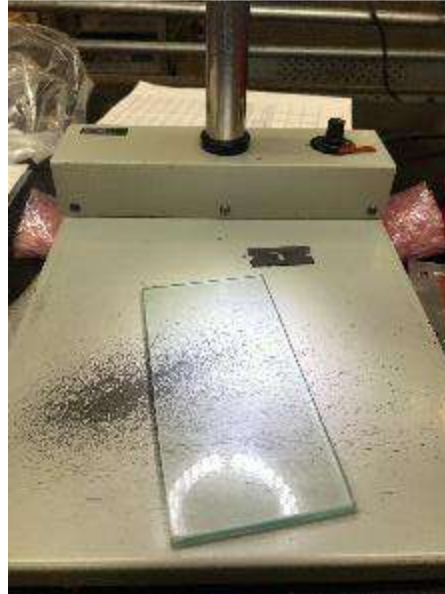
**Figura 4.7** Silicón moldeado



**Figura 4.8** Herramientas para los moldes

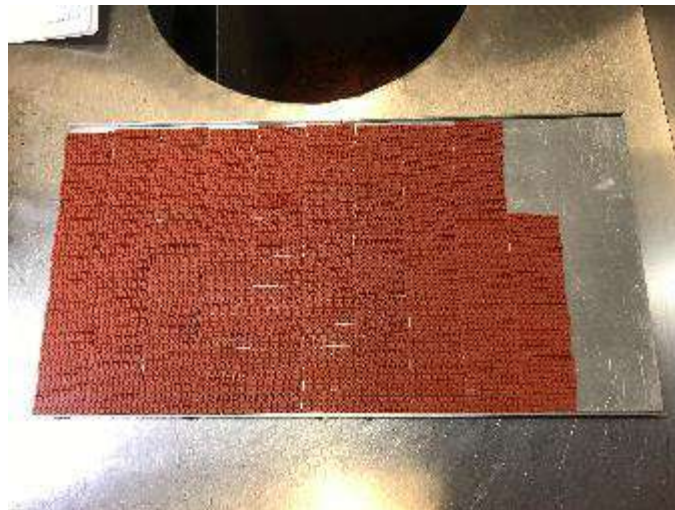
- 3) Corte de gate: después de que el silicón es sacado del molde, es necesario cortar el exceso ya que de un cubo pueden salir varias piezas de silicón,

dependiendo del molde y número de parte que se esté fabricando, para esto es necesario de una navaja, vidrio y un microscopio ya que son piezas muy pequeñas y delicadas (figura 4.9).



**Figura 4.9** Herramientas para el corte de gate

Después de cortar el exceso las piezas pasan a una charola, donde se acumulan de 250 a 300 piezas (figura 4.10).



**Figura 4.10** Charola con piezas de silicón

Cada dos horas se miden las piezas que salen de las máquinas moldeadoras, una operadora se encarga de ir por las últimas piezas fabricadas de cada

máquina, mide las piezas y las compara contra el plano del número de parte seleccionado, estas medidas son necesarias para llenar unos formatos que son requeridos para que el producto salga del área de moldeo una vez que se empaque.

- 4) Pintado: hasta que se llena la charola pasan a pintar las piezas ya que la pintura se seca muy rápido y no puede estar expuesta a la temperatura ambiente (figura 4.11).



**Figura 4.11** Pintado de posición

- 5) Horneado: Al finalizar cada turno meten aproximadamente de 400 a 550 piezas de silicón al horno, para que pasen 8 horas en ser curados (figura 4.12).



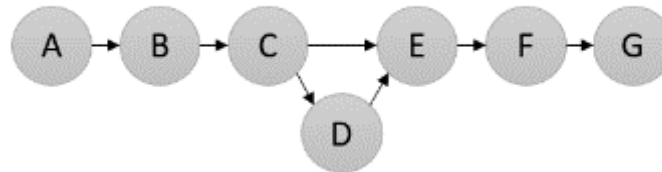


**Figura 4.12** Horno

- 6) Inspección: después de salir del horno se sacan las charolas y se observa una muestra en el microscopio para identificar si tienen alguna irregularidad, así como volver a medir una muestra para que ésta sea comparada contra el plano, ya que el horno reduce las dimensiones de las piezas por la alta temperatura en la que se encuentra.
  
- 7) Empacado: un ingeniero de calidad observa una muestra de los empaques de silicón para asegurarse de que se encuentren bien, así como revisar las medidas que se realizaron antes y después de meter al horno para compararlas contra el plano del número de parte fabricado. Si las piezas se encuentran bien, manda el paquete al almacén, si no, se tiene que volver a revisar las piezas y sacar las piezas buenas de las malas.

En la tabla 4.1 se muestran los 12 números de parte que fueron seleccionados, el proceso de pintado se hace sólo para 4 de ellos (figura 4.13). Este pintado sirve para orientar la posición que debe tener al momento de hacer el producto final, es un pintado

de posición como se muestra en la figura 4.2, prácticamente es una forma para evitar errores, los productos que se pintan son productos asimétricos.



**Figura 4.13** Flujo del proceso de los empaques de silicón

Empaques de silicón							
N/P	Proceso						
	Pesado de silicón (A)	Moldeo (B)	Corte de gate (C)	Pintado (D)	Horneado (E)	Inspección (F)	Empacado (G)
232967-000	X	X	X	X	X	X	X
084987-000	X	X	X	X	X	X	X
241007-000	X	X	X		X	X	X
698016-000	X	X	X		X	X	X
698171-000	X	X	X	X	X	X	X
698045-000	X	X	X		X	X	X
316991-000	X	X	X		X	X	X
831712-000	X	X	X	X	X	X	X
407329-000	X	X	X		X	X	X
622921-000	X	X	X		X	X	X
693089-000	X	X	X		X	X	X
693098-000	X	X	X		X	X	X

**Tabla 4.1** Proceso de los diferentes números de parte

Existe una demanda diferente para cada uno de ellos, hay números de parte que no se fabrican muy seguido por lo cual solo se elegirán los siguientes: 232967-000, 084987-000, 241007-000 ya que son los más demandados, en la tabla 4.2 se muestra su demanda promedio mensual, los datos se tomaron del mes de enero a marzo de 2020.

N/P	Demanda mensual
232967-000	14323
084987-000	13254
241007-000	9391
698016-000	1011
698171-000	821
698045-000	82
316991-000	39
831712-000	34
407329-000	2
622921-000	2
693089-000	0
693098-000	0
Total	39160

**Tabla 4.2** Demanda mensual de los 12 números de parte

Cada número de parte se fabrica con diferente molde, existen moldes con 16,12, 10, 8, 4 y 2 cavidades, esto quiere decir que las cavidades de los moldes son las piezas que salen de ellos, los moldes de 16 cavidades solamente se producen en la Wabash 1, todos los demás en la prensa 13 y 14 (tabla 4.3).

EMPAQUES DE SILICÓN		
MOLDE	N/P	CAVIDADES
21-1850373	232967-000	12
	241007-000	
20-1943426	232967-000	16
	241007-000	
21-1850398	084987-000	12
20-1943424		16
TPM-2	693089-000	2
	693098-000	2
TPM-2	698045-000	4
TPM-3	316991-000	10
TPM-4	831712-000	8
TPM-6	698016-000	12
TPM-5	698171-000	12
TPM-8	407329-000	12
	622921-000	12

**Tabla 4.3** Moldes y cavidades de los empaques de silicón

## 4.2 Crear el estado actual de la cadena de valor

Para poder iniciar con el mapa de la cadena de valor se recolectaron los siguientes tiempos:

Proveedor: El proveedor tarda 63 días en enviar el silicón al área de moldeo (tabla 4.4).

Proceso: se tomaron 20 muestras de tiempos en cada operación a diferentes horas y días para obtener un tiempo promedio para cada operación. También se tomaron los tiempos que tardan las máquinas en moldear el silicón y el tiempo que tarda el horno en curar los empaques de silicón. Otros datos importantes fueron los números de operadores que trabajan en estas máquinas, número de máquinas, el porcentaje de scrap que sale de cada operación, los turnos que existen en el área para poder producir los empaques de silicón (tabla 4.5).

Durante el mes se trabajan 22 días. Laborar los sábados es opcional y se toma como tiempo extra. En la tabla 4.6 se muestran las horas diarias de producción.

Proveedor	
Tiempo de llegada del material	63 días

**Tabla 4.4** Tiempo de llegada del material

	Pesado de tiro	Moldeo	Corte de gate	Pintado	Horneado	Inspección	Empacado
Tiempo de operación (T.O):	10,06 seg	96 seg	283 seg	663 seg	34,4 seg	513 seg	405 seg
Tiempo de la máquina (T.M):	0	540 seg	0	0	28800 seg	0	0
Setup:	0	3600 seg	0	0	0	0	0
Scrap:	0%	1%	3%	1%	1%	<1%	0%
Turnos:	2	2	2	2	2	2	2
Máquinas:		2			1		

**Tabla 4.5** Información del proceso

	Tiempo disponible de producción		
	Día	Noche	Nota
Lunes	8.6 hr	10 hr	
Martes	11 hr	10 hr	2.5 hrs extras día
Miércoles	11 hr	10 hr	2.5 hrs extras día
Jueves	11 hr	10 hr	2.5 hrs extras día
Viernes	11 hr	0 hr	2.5 hrs extras día
Sábado	7.5 hr		7.5 hrs extras día
Total Semana	<b>100.1 hr (sin contar tiempo extra)</b>		
Total día	<b>16.68 hr</b>		

**Tabla 4.6** Tiempo disponible para producir

Con la información recolectada podemos dar inicio a la obtención del Takt Time, para lo cual las horas diarias de producción se multiplican por 60 para convertirlas a minutos y después otra vez por 60 para convertirlos en segundos. La demanda mensual la usaremos de 40,000 y la dividiremos entre 22 días del mes.

- ( 1 ). Takt Time: Segundos diarios disponibles de producción / Demanda diaria
- ( 2 ). Takt Time: 60060 segundos / 1819 productos diarios
- ( 3 ). Takt Time: 33.01 seg/pz

Para la creación del estado actual de la cadena de valor se tomaron en cuenta los datos anteriores y se realizó un bosquejo a mano con ayuda de los ingenieros, técnicos y operadoras como se muestra en la figura 4.14 y 4.15.



**Figura 4.14** Borrador del estado actual

El VSM nos ayuda a identificar el proceso, desde el proveedor al cliente final donde se ven desde la recepción del material y como se va transformando hasta llegar al cliente, mostrando números tales como tiempo de operación, tiempos de máquinas, scrap, etc. Su objetivo es entender el proceso, para que el equipo de trabajo también tenga conciencia de la transformación desde la materia prima al producto final. Una vez hecho el mapa actual de la cadena de valor, se identificó que lo que marca el ritmo de producción es la máquina de moldeo, donde ahí salen los productos ya moldeados para seguir con su proceso, para entender más el proceso se obtuvo el indicador del OEE el cual nos sirvió para identificar la eficiencia que tenía el equipo utilizado, dándonos un porcentaje del 69%, en la tabla 2.5 se muestra los valores del OEE dándonos una valoración “REGULAR” donde existen pérdidas económicas. El valor más bajo de la fórmula del OEE fue la Disponibilidad, con un valor de 83%, esto se debe a las averías y tiempos de cambio de producto que se presentan en esta máquina.

## Implementación

OEE VSM ACTUAL	69%
----------------	-----

	Horas
Tiempo total	10
Tiempo programado	1,4
Tiempo disponible	8,6
Averías + tiempo de cambio de producto	1,5

	Número de piezas
Producción real	520
Capacidad productiva	600

	Número de piezas
Producción real	520
Producto defectuoso	20

Disponibilidad	83%
----------------	-----

Eficiencia	87%
------------	-----

Calidad	96%
---------	-----

**Tabla 4.7** OEE VSM ACTUAL

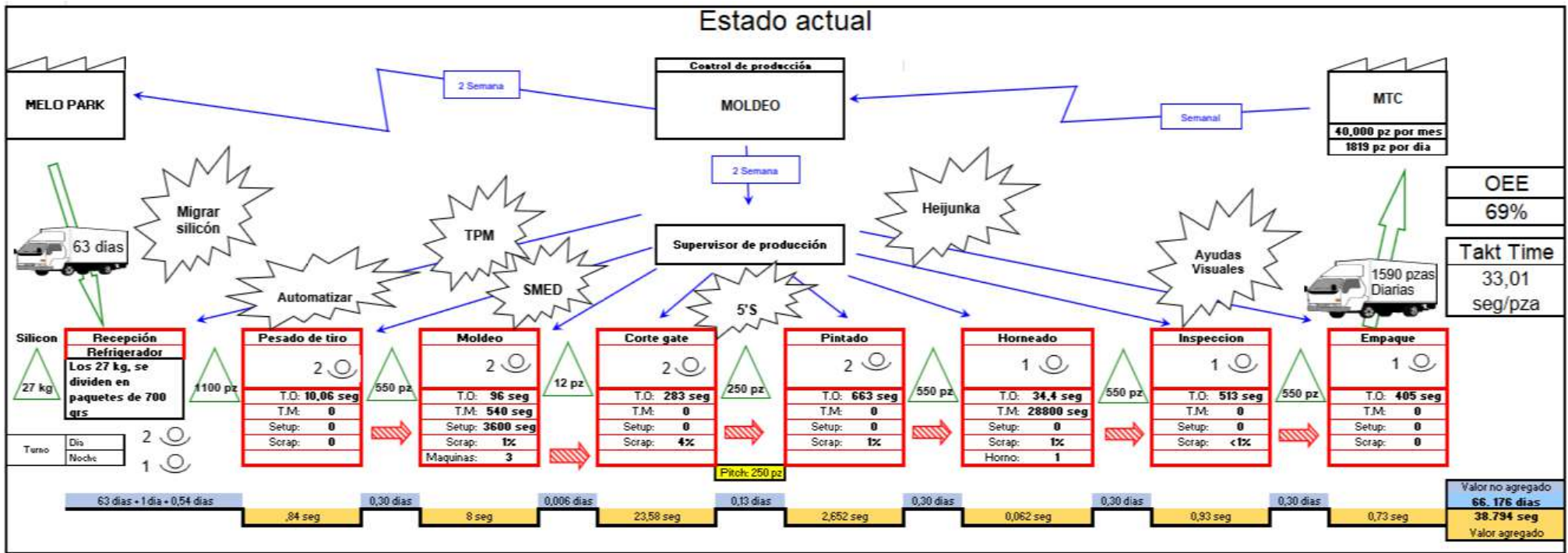


Figura 4.15 Estado actual del VSM

En el estado actual del VSM (figura 4.15) se ven los eventos kaizen, o bien, las posibles acciones a realizar para mejorar el proceso y así aumentar la productividad. El equipo integrado por ingenieros de calidad, procesos, planeación, mantenimiento y producción dio como posibles las siguientes herramientas de la manufactura esbelta: SMED, TPM, Ayudas visuales, 5'S, Heijunka entre otras mejoras como migrar el proceso de silicón a la planta aeroespacial de Hermosillo, para poder fabricar la materia prima dentro de la planta y no tener que esperar los 63 días para que llegue el producto.



### 4.3 Crear el estado futuro de la cadena de valor

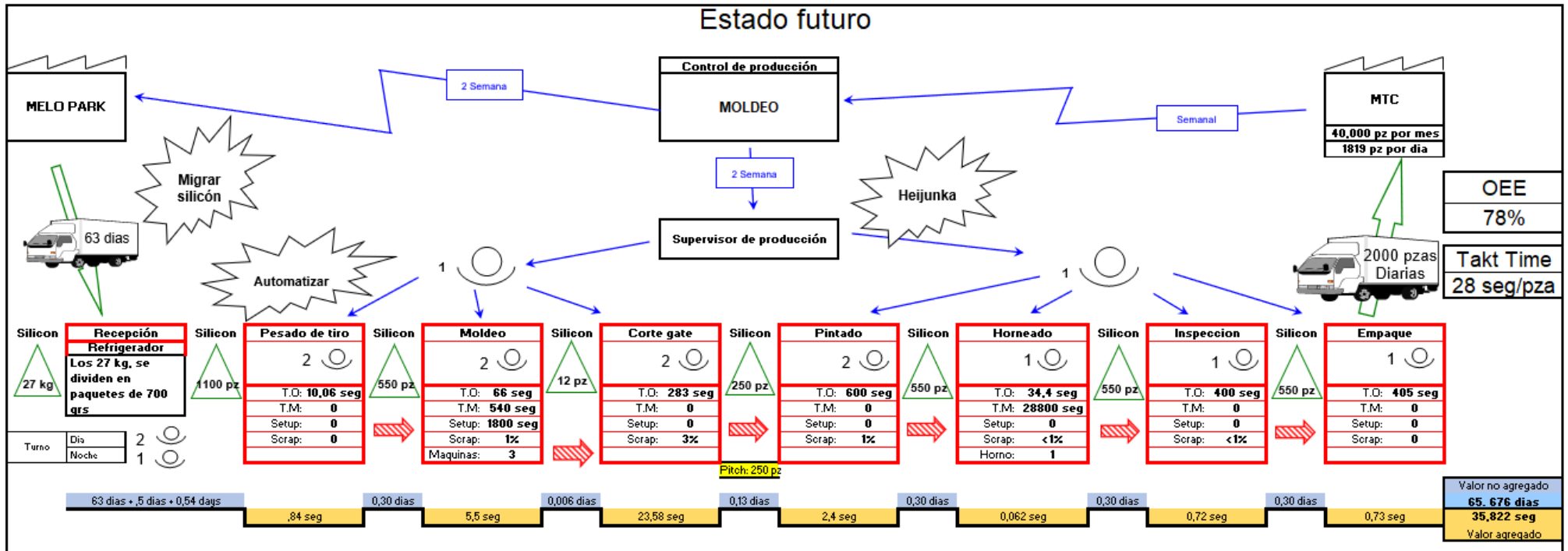


Figura 4.16 Estado futuro del VSM

El estado futuro es una visualización de como quedaría el proceso ya eliminando los desperdicios detectados. Se sugirió que el proceso se dividiera en 2, por un lado el pesado de tiro, moldeo, corte de gate y por el otro el pintado, horneado, inspección y empaque, se asignaron dos operadoras que servirán como auxiliares durante todo el proceso de fabricación de los empaques, como se muestra en la figura 4.16, buscando resolver los problemas lo más pronto posible para que no afecte la producción, dichas operadoras se apoyarán con ayudas visuales para entender si el problema es por los parámetros de las máquinas, si el molde requiere de algún mantenimiento, etc.

#### 4.4 Identificar acciones correctivas

Después de analizar el VSM actual y crear el VSM futuro se originan oportunidades para mejorar la productividad el área, durante la investigación se pudo concluir que el proceso de moldeo es el más importante ya que de ahí depende la cantidad de productos existentes al finalizar cada turno. Para este proceso se observó que su tiempo de ciclo es de 636 segundos; 540 segundos son de la máquina ya que ésta tarda 9 minutos en calentarse para moldear el silicón, los 96 segundos restantes son de la operadora. La función de la operadora en dicho proceso es retirar el silicón que ya fue moldeado de la máquina, limpiar el molde, poner un nuevo cubo de silicón en la maquina y accionar la maquina (tabla 4.7).

Tiempo (segundos)			
Operación	Operadora	Máquina	Tiempo ciclo
Moldeo	96	540	636

**Tabla 4.7** Tiempo ciclo del proceso de moldeo

Si la operadora se tarda más de lo normal, se reducen los productos terminados al finalizar su turno, este problema puede ser ocasionado por:

1. Parámetros incorrectos de las máquinas: en las órdenes de trabajo mencionan los parámetros con los que se tiene que producir el número de parte y qué molde es el que se requerirá, pero los parámetros que están en las órdenes de trabajo no son los reales, ya que al pasar el tiempo las máquinas se desgastan y hace que exista variación en ellas, deformando el producto.
2. Molde sin mantenimiento preventivo: el molde tiende a necesitar servicios de mantenimiento diarios, muchos de estos mantenimientos se realizan en las horas de producción.
3. Mantenimiento incorrecto: un mal mantenimiento al molde hace que el molde no moldee bien la pieza, requiriendo otro mantenimiento.
4. Mala capacitación: se puede entender por no manipular bien las herramientas, no saber si el producto salió defectuoso o no.

5. Distractores: las operadoras y técnicos se distraen afectando el tiempo de proceso.

Cada uno de estos problemas hace que la operadora fabrique menos productos al finalizar su turno afectando la demanda diaria. Se observó que estos problemas podrían ser resueltos con la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM), esta es una herramienta de la manufactura esbelta cuyo objetivo es lograr una alta disponibilidad del equipo/maquinaria para que éstos no dejen de producir, es una filosofía ligada al Justo a Tiempo, que sirve para reducir costos y aumentar la productividad.

La metodología del TPM se basa en 6 actividades:

1. Eliminación de las 6 grandes pérdidas
  - 1.1. Falla en el equipo
  - 1.2. Paros menores
  - 1.3. Pérdida de velocidad
  - 1.4. Set-Up
  - 1.5. Reducción de desperdicios de la materia prima
  - 1.6. Defectos y retrabajos
2. Planeación del mantenimiento
3. Mantenimiento autónomo
4. Ingeniería preventiva
5. Diseño de producto
6. Educación y práctica

#### **4.5 Implementar las acciones correctivas**

La propuesta del proyecto fue creada por un equipo conformado por gerentes de moldeo, ingenieros, supervisores, jefa de línea, operadores y técnicos, para darle seguimiento al VSM y a la herramienta del TPM. Comenzamos con la implementación de esta filosofía concientizando a todos los involucrados para que entiendan las 6 actividades claves de esta herramienta de la manufactura esbelta, así mismo se les

explicó de otras herramientas como las 5'S, SMED y ayudas visuales ya que son la base para una buena implementación del TPM.

#### 4.5.1 Eliminación de las 6 grandes pérdidas

El proyecto se enfoca en eliminar estas 6 grandes pérdidas o bien, disminuir los desperdicios. Para poder empezar con esta implementación del TPM es necesario que primero entiendan lo que significa el TPM, también es necesario que los integrantes del equipo identifiquen las operaciones que conlleva la fabricación de los empaques de silicón, es importante que se tenga una gran participación de las operadoras ya que ellas son las que manejan el producto y son las que tienen más práctica y experiencia.

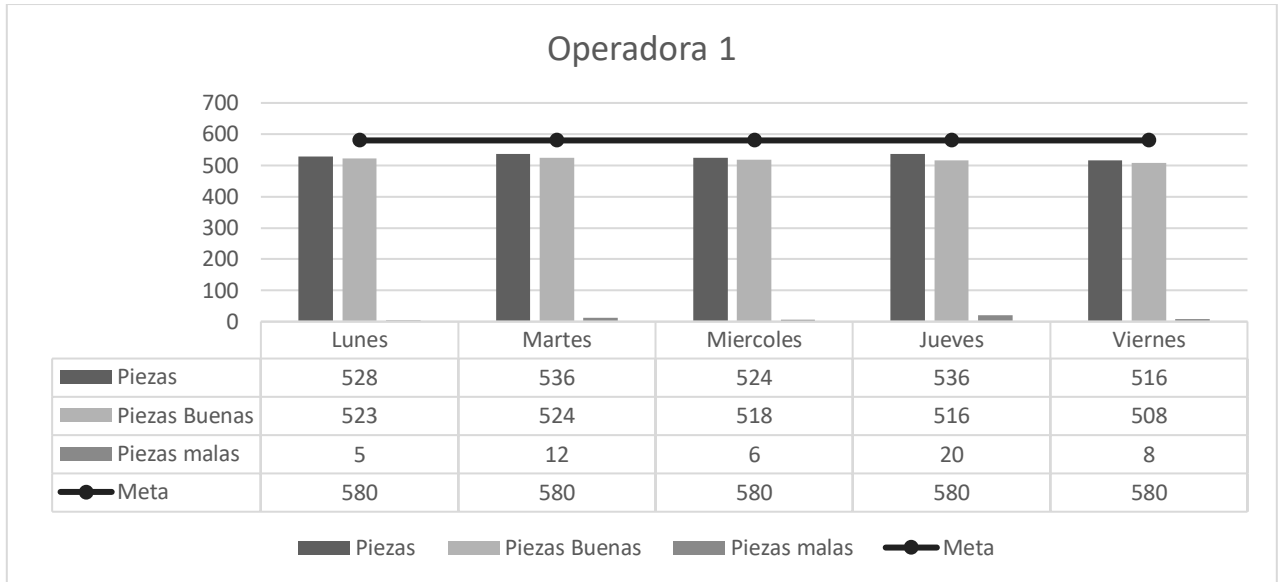
Una vez logrado lo anterior, empezaremos a trabajar para reducir o eliminar estas 6 grandes pérdidas. La siguiente tabla (tabla 4.8) muestra las piezas que se pierden o se dejan de producir por estas pérdidas.

6 grandes pérdidas		Causa	Piezas que no son producidas, scrap	Frecuencia
1	Fallo en el equipo	Parámetros de las máquinas	40-80 pzas	Una vez al mes
2	Paros menores	Mantenimiento a molde	36-50 pzas	Diario
3	Pérdida de velocidad	Distracción, falta de capacitación	10-70 pzas	Diario
4	Set-up	Mala ejecución	72-96 pzas	Una vez al mes
5	Reducción de desperdicio de materia prima	Silicón caducado	300 - 600 pzas	Una vez cada 3 meses
6	Defectos y retrabajos	Daños en la pieza, deformaciones	10-40 pzas	Diario

**Tabla 4.8** Piezas que no son producidas, scrap

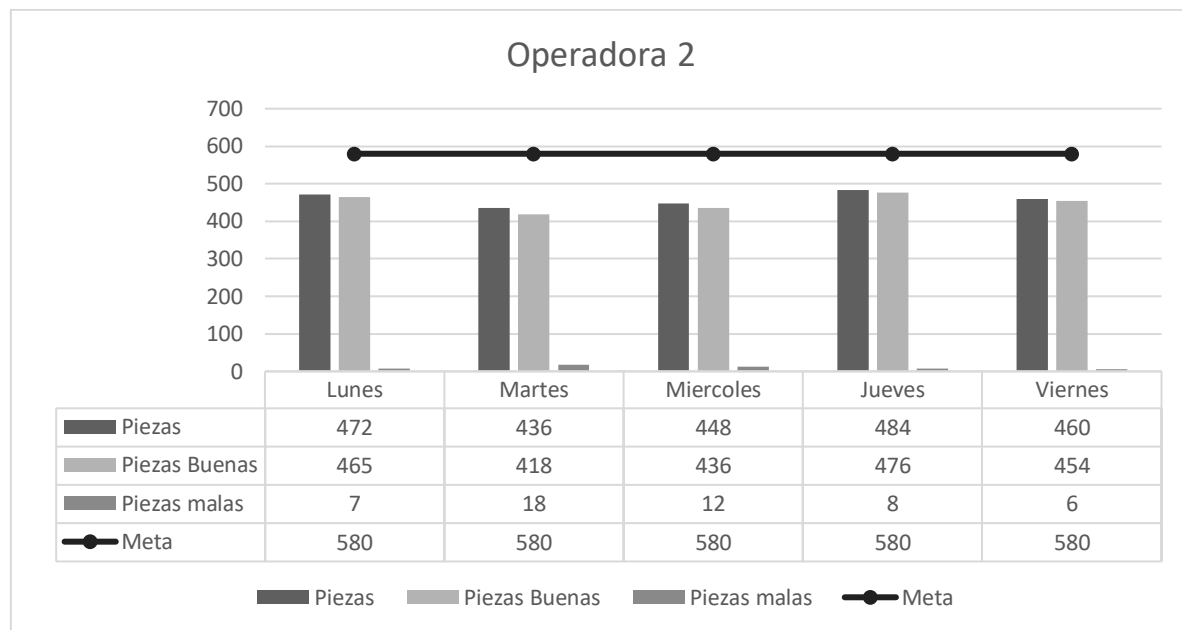
Para entender mejor, se evaluó a 2 operadoras, una de ellas es una operadora que ha trabajado con los empaques de silicón por más de 3 años, la otra es rotada por el área y tiene poca experiencia en los empaques de silicón, a las cuales llamaremos operadora 1 a la operadora con experiencia y operadora 2 a la que rota por el área. Al finalizar la jornada laboral se contaron los productos finales de las operadoras, durante 1 semana. Cabe aclarar que las 2 operadoras trabajaron con moldes de 12 cavidades,

580 piezas son las que se deberían de fabricar si el trabajo estuviera estandarizado y controlado, en la figura 4.17 se mostrará la producción diaria de la operadora 1 y en la figura 4.18 la producción diaria de la operadora 2.



**Figura 4.17** Piezas fabricadas por la operadora 1

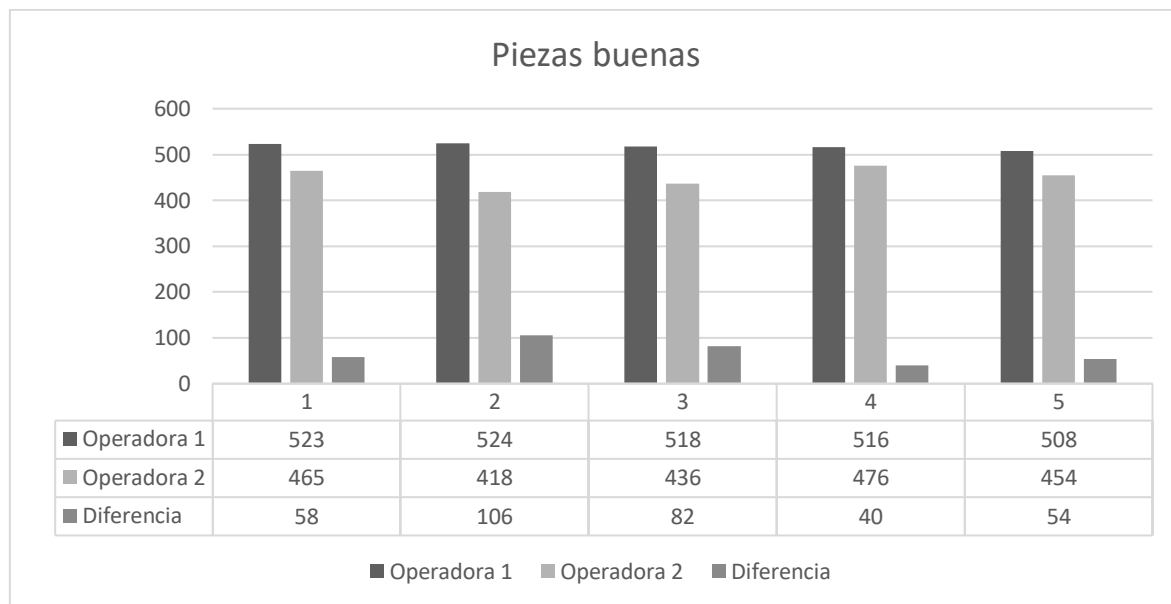
La operadora 1 está cerca de la meta, sin embargo, no cumple con ella porque los mantenimientos al molde le quitan gran parte de su tiempo para poder producir los empaques de silicón, cabe mencionar que la operadora 1 es la operadora que más piezas fabrica al finalizar su turno, teniendo un promedio de 528 piezas diarias, para llegar a la meta faltarían 52 piezas más, éstas no se fabrican debido a los problemas, pérdidas y desperdicios ya mencionados.



**Figura 4.18** Piezas fabricadas por la operadora 2

La operadora 2 tiene el mismo problema con el mantenimiento del molde, también se le quita tiempo de producción, pero ella presenta otros desperdicios detectados, uno de los más importantes es la capacitación que recibió ya que ella tarda más en la operación de molde, lo que eleva el tiempo de ciclo de los empaques de silicón, disminuyendo la cantidad de productos existentes al finalizar su turno.

Después de analizar a las 2 operadoras, se realizó una tercera gráfica donde se muestra la diferencia que existe entre los productos finales de la operadora 1 y la operadora 2. En la figura 4.19 se presenta dicha comparación.



**Figura 4.19** Diferencia de piezas entre la operadora 1 y 2

La diferencia promedio entre la operadora 1 y la 2 es de 68 piezas, si agregáramos a una tercera operadora, ese número se incrementaría ya que muy pocas de las operadoras saben manejar los equipos para fabricar los empaques de silicón. Las operadoras están lejos de alcanzar la meta establecida por el equipo y esto se debe a los problemas ya mencionados. Para poder acercarnos a ese número es necesario resolver las 6 grandes pérdidas que a continuación se mencionan como se fueron trabajando, buscando eliminarlas o disminuirlas.

#### **4.5.1.1 Falla del equipo**

Las máquinas de moldeo tienden a variar ya que son antiguas, lo que hizo que nos adentráramos en su funcionamiento para entender realmente cómo trabajan y de qué manera pudiéramos encontrar los parámetros reales de los productos con mayor demanda, con la finalidad de que el producto salga lo más correcto posible.

Se realizó una tabla donde se describe el número del parte, qué molde utiliza, el silicón y los parámetros: temperatura, presión, peso del cubo de silicón y tiempo de la máquina para cada una de las tres máquinas moldeadoras (ver tablas 4.9, 4.10 y 4.11)

PRENSA 14						
N/P	MOLDE	TEMPERATURA	PRESION	PESO DEL TIRO	SILICÓN	TIEMPO MAQ.
232967-000	21-1850373	351 C°	1075	7,6 GR	EM9163-000	9 MIN
241007-000		351 C°	1000	7,6 GR	EM9163-000	9 MIN

**Tabla 4.9** Parámetros de la prensa 14

PRENSA 13						
N/P	MOLDE	TEMPERATURA	PRESION	PESO DEL TIRO	SILICÓN	TIEMPO MAQ.
084987-000	21-1850398	365 C°	500	7,25+-,05 gr	EM9163-000	9 min

**Tabla 4.10** Parámetros de la prensa 13

WABASH 1								
N/P	MOLDE	TEM. SUPERIOR	TEM. INFERIOR	CLAMP PRESSURE	TRANSFER PRESSURE	PESO DEL TIRO	SILICÓN	TIEMPO MAQ.
232967-000	20-1943426	355	351	12	2,9	9,95 gr	EM9163-000	9 MIN
241007-000								
084987-000	20-1943424	355	350	12	2,9	9,95 gr	EM9163-000	9 MIN

**Tabla 4.11** Parámetros de la Wabash 1

En cada máquina se entregó la tabla con los datos correspondientes a la misma, para que los operadores tengan fácil acceso a los parámetros y los vean antes de producir los empaques de silicón, esto también ayudó a los técnicos para identificar rápidamente qué molde es con el que se está trabajando y si existe un posible cambio, que vean que parámetros son los que se requieren.

Para poder encontrar esos parámetros se trabajó en un diseño de experimento básico, se modificaban los parámetros y se analizaba el empaque de silicón en el microscopio hasta que se encontraron los parámetros ilustrados en las tablas anteriores. Posterior a eso, se le entregaban las medidas y los productos a la encargada de calidad para que los inspeccionará y aprobara los parámetros nuevos.



Se creó otra tabla para posibles modificaciones por que los ingenieros no sabían cuando uno de estos parámetros pudiese cambiar, un ejemplo es la siguiente:

PRENSA 14						
N/P	MOLDE	TEMPERATURA	PRESION	PESO DEL TIRO	SILICON	TIEMPO MAQ.
232967-000	21-1850373					
241007-000						
Fecha de la modificación:						
Observaciones:						

**Tabla 4.12** Ejemplo de una tabla para cambiar parámetros

La máquina puede fallar, al pasar esto, el producto sale defectuoso y es donde entran los ingenieros y el equipo de mantenimiento acude a ver qué está pasando con los parámetros y con la máquina, al momento de modificar un parámetro se apunta en esta tabla, poniendo la fecha de la modificación y la observaciones, esta tabla también fue entregada a cada máquina, el número de parte se corre con la nueva modificación y se observan los empaques de silicón durante 1 semana, se comparan con el plano del producto y si es correcto, se modifica ese parámetro.

#### 4.5.1.2 Paros menores

El molde se llena de suciedad y es necesario parar la máquina para poder brindarle un mantenimiento al molde. Estos paros son necesarios ya que sale mejor realizar el mantenimiento al molde que trabajar con el molde en ese estado, estos mantenimientos suelen ser de 1 a 2 diarios, el equipo de mantenimiento debe realizar este mantenimiento siguiendo un protocolo para no dañar el molde, ya que éste tiene pines que pueden ser lastimados, se entregó este protocolo especificando cada paso que se debe seguir para poder brindar el mantenimiento de la forma correcta.

Antes de finalizar el turno es necesario aplicar el mantenimiento al molde que se quedará produciendo el turno siguiente, para que el molde esté en buen estado y

produzca correctamente las piezas. Al ser así, se reducen los paros menores en los moldes durante las horas de producción, ya que un molde con un buen mantenimiento puede rendir toda la jornada laboral. La única vez que interrumpirían las horas de producción serían los lunes, ya que los domingos no se labora.

### **4.5.1.3 Pérdida de velocidad**

Se concientizó a las auxiliares de línea para que ellas pudieran entender la importancia de la máquina de moldeo, ya que de ahí depende la mayor parte de los números de parte existentes al finalizar el turno, así mismo se concientizó al personal para no distraerse al momento de ejecutar esa operación. Se colocó una operadora encargada de supervisar las operaciones 1, 2, 3 y otra en las operaciones 4, 5, 6 y 7, esto para ayudarles a controlar mejor la información y los productos.

Se aplicaron las 5'S en las mesas de trabajo, esto ayudó a que las operadoras tuvieran siempre las herramientas en el mismo lugar. Se mandó a cambiar la iluminación del área para que tuvieran una visión clara de lo que observaban en el microscopio.

### **4.5.1.4 Set-Up**

Cada vez que se quiere producir un número de parte diferente es necesario realizar un set-up, para esto es necesario seguir ciertos pasos que se muestran a continuación en la tabla 4.13

Set-up	
Tiempo en segundos	Actividad
223	Buscar molde y trasladarlo al taller
43	Buscar herramientas y darle mantenimiento previo al molde
39	Traslado del taller a la máquina
83	Sacar molde actual y poner el nuevo
1200	Calentar molde
184	Quitar molde y llevarlo a una rociadora de polímeros
240	Rociar polímeros en las 2 partes del molde
42	Traslado del taller a la máquina
49	Colocar molde en la máquina
540	Calentar molde 9 minutos
1231,2	Correr 2 tiros de prueba e inspeccionarlos

Total en segundos	3874,2
Total en minutos	64,57

**Tabla 4.13** Tiempo de ejecución del Set-Up

Para poder reducir el tiempo del set-up fue necesario aplicar la herramienta SMED, con la cual se pudo identificar las actividades externas e internas, una vez que se identificaron esas actividades se buscó cuales se pudieran eliminar o hacer al mismo tiempo para poder reducir el tiempo de ejecución, así como también se apoyó con ayudas visuales en los gabinetes donde se encuentran los moldes, esto ayudó a identificar de manera rápida el molde que sería el nuevo en correr dentro de la línea de producción (tabla 4.14).

Set-up			
Tiempo en segundos	Actividad	Externa	Interna
223	Buscar molde y trasladarlo al taller	x	
43	Buscar herramientas y darle mantenimiento previo al molde	x	
39	Traslado del taller a la máquina	x	
83	Sacar molde actual y poner el nuevo		x
1200	Calentar molde		x
184	Quitar molde y llevarlo a una rociadora de polímeros		x
240	Rociar polímeros en las 2 partes del molde		x
42	Traslado del taller a la máquina		x
49	Colocar molde en la máquina		x
540	Calentar molde 9 minutos		x
1231,2	Correr 2 tiros de prueba e inspeccionarlos		x

Total en segundos	3874,2
Total en minutos	64,57

**Tabla 4.14** División de las actividades del Set-up

Los moldes se encuentran desordenados en un gabinete, por lo que se procedió a estandarizar el gabinete, para lo cual se realizó un formato donde se indican los moldes que se encuentran en los diferentes niveles del gabinete, para siempre dejarlos en el mismo lugar cuando éstos no se estén utilizando, así al momento de buscarlos siempre estarán en el mismo lugar y así será más fácil su localización, reduciendo el tiempo de búsqueda.

Antes de que la orden de producción de cierto número de parte esté por finalizar se le avisará a los técnicos para que vayan preparando el molde, al hacerlo de esta manera se eliminarán las actividades externas del set-up

Las actividades 4, 5, 6, 7 y 8 se realizaron en una máquina que no se utiliza, pero sirve para calentar el molde, lo que ayudó a convertir esas actividades internas a externas (tabla 4.15).

Set-up			
Tiempo en segundos	Actividad	Externa	Interna
98	Buscar molde y trasladarlos al taller	x	
43	Buscar herramientas y darle mantenimiento previo al molde	x	
39	Traslado del taller a la máquina	x	
83	Sacar molde actual y poner el nuevo	x	
1200	Calentar molde	x	
184	Quitar molde y llevarlo a una rociadora de polímeros	x	
240	Rociar polímeros en las 2 partes del molde	x	
42	Traslado del taller a la máquina	x	
49	Colocar molde en la máquina		x
540	Calentar molde 9 minutos		x
1231,2	Correr 2 tiros de prueba e inspeccionarlos		x

Comparación de tiempos de setup antes y después del uso del SMED en máquina moldeadora			
	Antes de SMED	Después de SMED	Diferencia
Total en segundos	3749	1929	1820
Total en minutos	62	32	30

**Tabla 4.15** Modificación del Set-up, con ayuda del SMED

En resumen, se pudiera decir que el SMED ayudó a reducir 50% el tiempo de ejecución ya que las actividades externas se realizan antes de cambiar el molde para fabricar otro número de parte, solamente tardaríamos 30 minutos en correr otro número de parte.

#### 4.5.1.5 Reducción de desperdicios de materia prima

La materia prima es el silicón con el que se fabrican los empaques, este silicón cuenta con fecha de caducidad. Se observó que cada mes se tiran aproximadamente 3 kilos

de silicón a veces hasta más, lo que se hizo fue que la encargada del almacén contabilizara los kilos que se tiran para que en un trabajo futuro lo analicen y ver si se pueden utilizar todo el silicón gracias a un buen plan de producción.

#### **4.5.1.6 Defectos y retrabajos**

Los retrabajos no existen para ese tipo de producto ya que el producto es muy delicado, todos los productos que no cumplen con las características del producto son desechados. Existen características que a simple vista se pueden detectar y determinar si se produjeron defectos, otra característica importante son las medidas de las piezas, pero el primer filtro es visual, la operadora con base a su experiencia se da cuenta cual empaque de silicón está bien o no, existe un documento de calidad donde salen fotografías que sirven de ejemplos, pero estos ejemplos no sirven ya que en las fotografías salen números de parte que ya no se fabrican. Esto me llevó a entregarles un nuevo documento con fotografías, especificando las piezas buenas y piezas malas de los números de parte que más se fabrican. Este documento sirvió para capacitar al nuevo personal, para identificar piezas malas y buenas, para que el producto malo no llegue a manos del cliente.

#### **4.5.2 Planeación del mantenimiento**

Las máquinas requieren cierto mantenimiento cada 3 meses, el taller de mantenimiento no cuenta con una lista de las piezas que requieren ser cambiadas cuando brindan esos mantenimientos, le cambian las piezas por la experiencia que tienen ellos, pero a veces no tienen el repuesto a la mano, y se pierde tiempo en aprobar la compra de esa pieza y las máquinas se quedan sin producir.

Se requiere un plan de mantenimiento y contar con una lista de todas las piezas que necesitan ser cambiadas en esos mantenimientos y siempre contar con piezas de repuesto por si salen defectos imprevistos.

#### **4.5.3 Mantenimiento autónomo**

Las operadoras tienen que limpiar su zona de trabajo para dejar el espacio limpio, para que el siguiente turno trabaje adecuadamente y no pierda tiempo en buscar las herramientas de trabajo, así como dejar claro el número de parte que se está

produciendo. El turno de la noche tiende a cometer más errores ya que no cuentan con una jefa de línea ni supervisor de producción, por ende, se tiene que dejar todo muy claro antes de terminar el turno del día.

#### **4.5.4 Ingeniería preventiva**

Este paso del TPM no se abarcó ya que se tendría que saber la vida útil de las piezas, maquinaria, rentabilidad, entre otras cosas.

#### **4.5.5 Diseño de producto**

El diseño del producto no puede cambiar, pero sí la forma en la que se fabrican los empaques, así como brindar mejores herramientas a las operadoras para facilitarles su trabajo. Se cambió un fixture que utilizaban en el corte del gate, antes era de plástico y se cambió por uno de vidrio, con lo que se aumentó la precisión del corte reduciendo los tiempos de operación.

#### **4.5.6 Educación y práctica**

Se necesita tiempo para comprender la filosofía del justo a tiempo y del TPM pero una vez comprendido es vital no dejar de practicarlo, este paso es muy importante ya que brinda soporte a las primeras 5 actividades del TPM, sin lugar a dudas, no deben olvidarse las responsabilidades de cada integrante del equipo. En síntesis, se necesita de todos para que la filosofía se convierta en un hábito y puedan ver los resultados en poco tiempo. Ingenieros de mantenimiento auditan constantemente el área de moldeo para verificar que siguen por la aplicación del TPM.

### **4.6 Evaluar los resultados**

El objetivo del proyecto de tesis era buscar mejorar el proceso de producción de los empaques de silicón, a continuación, se mostrarán las mejoras que se obtuvieron:

**Mejora 1:** Se aplicó el TPM buscando reducir las 6 grandes pérdidas, con ayuda de las 5's, SMED, ayudas visuales, capacitación etc. Se redujeron como se muestra en la tabla 4.16.

6 grandes pérdidas		Causa	Antes de la aplicación de TPM		Después de la aplicación de TPM	
			Piezas que no son producidas, scrap	Frecuencia	Piezas que no son producidas, scrap	Frecuencia
1	Fallo en el equipo	Parámetros de las máquinas	40-80 pzas	Una vez al mes	40-80 pzas	Una vez cada 3 meses
2	Paros menores	Mantenimiento a molde	36-50 pzas	Diario	36-50 pzas	Una vez por semana
3	Pérdida de velocidad	Distracción, falta de capacitación	10-70 pzas	Diario	0-24 pzas	Diario
4	Set-up	Mal ejecución	72-96 pzas	Una vez al mes	36-48 pzas	Una vez al mes
5	Reducción de desperdicio de materia prima	Silicón caducado	300-600 pzas	Una vez cada 3 meses	0 pzas	N/A
6	Defectos y retrabajos	Daños en la pieza, deformaciones	10-40 pzas	Diario	0-24 pzas	Diario

**Tabla 4.16.** Reducción de piezas y frecuencia de las pérdidas

1. Fallo del equipo: se redujo su frecuencia de una vez cada mes a una vez cada 3 meses.
2. Paros menores: se redujo la frecuencia de “diario” a una vez por semana.
3. Pérdida de velocidad: se redujeron las piezas de 10-70 a 0-24 piezas, la frecuencia siguió siendo diaria.
4. Set-up: se redujeron las piezas de 72-96 a 36-48 piezas, la frecuencia siguió igual.
5. Reducción de desperdicio de materia prima: de 300-600 piezas se redujo a 0, ya que ahora se aprovecha todo el material.
6. Defectos y retrabajos: de 10-40 piezas defectuosas diariamente se redujo a 0-24 piezas.

Gracias a eso se pudo obtener un trabajo estandarizado, ayudas visuales, mesa estandarizada lo que ayudó a reducir 30 segundos el tiempo de operación del proceso del “moldeo”, como se muestra en la tabla 4.17. Puede parecer una reducción mínima, porque realmente son pocas las piezas que aumentan al día, pero esto tomará importancia con los trabajos futuros.



	Operación de moldeo		
	Antes	Después	Reducción
Tiempo operadora	96 seg	66 seg	30 seg
Tiempo máquina	540 seg	540 seg	0 seg

**Tabla 4.17.** Reducción del tiempo de operación del proceso de moldeo

**Mejora 2:** Las operadoras todos los días tienen 30 minutos para desayunar y otros 30 minutos para comer, tiempo que no se excluían de las horas de producción. Para evitar que esta afectara la producción, se asignó a una operadora que ayuda a alimentar a las máquinas y de retirar el silicón ya formado. Al regresar del desayuno las operadoras ya tienen aproximadamente 36 piezas más de las cuales no contemplaban, y otras 36 piezas cuando regresaban de la comida.

**Mejora 3:** Para poder llegar a las 1,800 piezas diarias según la demanda fue necesario mandar hacer un molde de 16 cavidades especial para la máquina “Wabash 1”, para esto se tuvo que realizar un diseño de experimentos para poder obtener los parámetros adecuados.

Una vez realizado las mejoras dentro del proceso para la fabricación de los empaques de silicón, se decidió evaluar el OEE para ver reflejado las mejoras en el indicador que este nos proporciona, en la tabla 4.19 se muestran los resultados.

OEE	78%
-----	-----

	Horas	Numero de piezas	Numero de piezas
Tiempo total	10	Producción real 574	Producción real 574
Tiempo programado	0,8	Capacidad productiva 630	Producto defectuoso 22
Tiempo disponible	9,2		
Averías + tiempo de cambio de producto	1		

Disponibilidad	89%	Eficiencia	91%	Calidad	96%
----------------	-----	------------	-----	---------	-----

**Tabla 4.18** OEE

El valor del OEE pasado fue de 69%, el equipo de trabajo se dio a la tarea de mejorar la disponibilidad, eficiencia y calidad, con las mejoras ya mencionadas nos ayudó a subir dicho indicador a un 78%, esto se debió a la reducción de las averías y el tiempo de cambio de producto (molde), también se aumentó el tiempo disponible de producción ya que ahora producen piezas mientras las operadoras salen a comer, la eficiencia aumento debido a las capacitaciones y por los correctos mantenimientos al molde, la calidad se permaneció igual.

	Antes	Después
OEE	69%	78%
Disponibilidad	83%	89%
Eficiencia	87%	91%
Calidad	96%	96%

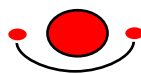
**Tabla 4.19** OEE antes y después

En la tabla 4.20 se muestra con mayor claridad los números y como fue aumentando las piezas por día.

## Implementación

Antes	Día						Noche			Productos por día 1590	
	Prensa 14				Prensa 13			Prensa 14			
	232967-000	241007-000	084987-000		232967-000	241007-000	084987-000	232967-000	241007-000		084987-000
	12 Cavidades			12 Cavidades			12 Cavidades				
516			450			624					
Mejora 1	Día						Noche			Productos por día 1667	
	Prensa 14				Prensa 13			Prensa 14			
	232967-000	241007-000	084987-000		232967-000	241007-000	084987-000	232967-000	241007-000		084987-000
	12 Cavidades			12 Cavidades			12 Cavidades				
533			510			624					
Mejora 2	Día						Noche			Productos por día 1788	
	Prensa 14				Prensa 13			Prensa 14			
	232967-000	241007-000	084987-000		232967-000	241007-000	084987-000	232967-000	241007-000		084987-000
	12 Cavidades			12 Cavidades			12 Cavidades				
590			574			624					
Mejora 3	Día						Noche			Productos por día 2110	
	Wabash 1				Prensa 13			Wabash 1			
	232967-000	241007-000	084987-000		232967-000	241007-000	084987-000	232967-000	241007-000		084987-000
	16 Cavidades			12 Cavidades			16 Cavidades				
768			574			768					

**Tabla 4.20** Mejoras en el proceso de los empaques de silicón



En la actualidad se trabaja con la mejora 3, donde la producción se elevó a 2100 piezas por día. Se pudiera pensar que se está sobre produciendo, pero no quiere decir que se haga eso, normalmente la Wabash 1 no para de producir, ya que el turno de la noche solamente trabaja en esa máquina, pero la prensa 13 y prensa 14 están disponibles para producir otro número de parte o bien, hacer el mismo que hace la Wabash 1, esto queda a disposición del supervisor de producción y de los productos con mayor demanda. También se pudieran usar los tiempos extras, pero tratan de evitar ese tipo de situaciones, actualmente no existe tiempo extra, a menos que pase alguna anomalía y se tenga que usar para no atrasarse en las entregas, por eso dejo en color rojo a las operadoras de la prensa 13 y a la operadora de la Wabash 1 del turno de la noche, por que dependerá de la organización del área.

El personal normalmente es rotado, si no se necesita producir en la prensa 13 o 14, la operadora puede realizar otras tareas dentro del área de moldeo, y ayudar a producir otra familia de producto.

## **5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

A continuación, se presentan las conclusiones de la implementación de las herramientas de la manufactura esbelta del área evaluada, las recomendaciones, y los posibles trabajos futuros que surgieron del presente proyecto.

### **5.1 Conclusiones**

Es fundamental para las empresas lograr la satisfacción de sus clientes, lo que puede repercutir positivamente para incidir con éxito en nuevos mercados que les generen mayores ingresos y más competitividad. Una alternativa para alcanzar lo anterior radica en una buena implementación de las herramientas o técnicas de la manufactura esbelta.

En el caso del presente trabajo de investigación, mediante la implementación de la técnica del VSM –pilar importante de la manufactura esbelta- se logró identificar varios desperdicios que se generan normalmente en las empresas, los cuales al ser atacados a corto plazo permitieron la obtención de buenos resultados. De la misma forma, pueden en un futuro próximo aplicarse otras herramientas o técnicas como las mencionadas en el cuerpo de este trabajo de investigación para resolver o disminuir otros desperdicios.

Considero que para el análisis de la problemática presentada, fue fundamental iniciar con la implementación de la herramienta del VSM, que ayudó a visualizar el proceso de inicio a fin de la familia de producto que se quería evaluar, y esto sirvió como pilar para poder mejorar el proceso de dicha familia de producto elegida, como a su vez ayudó a que el personal se involucrara en la mejoría del área. El conocimiento que brindó el mapa actual de la cadena de valor hizo más fácil la participación en la solución de los problemas de las áreas involucrados tales como el área de producción, mantenimiento, calidad, entre otras. De esta forma, resultó más natural el seguimiento

del listado de acciones a tomar como resultado de la aplicación de las técnicas de 5'S, TPM y SMED.

Los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo de investigación, muestran que es posible lograr que a través de una acción coordinada entre las diversas áreas productivas y de servicios de la empresa, se entiendan las causas de los diversos problemas que se presentan, se generen e implementen soluciones, de manera que la empresa logre mejoras que la hagan ser más competitiva y con una mayor satisfacción de sus clientes, brindando nuevas oportunidades y aumentando las ganancias a la empresa.

## **5.2 Recomendaciones**

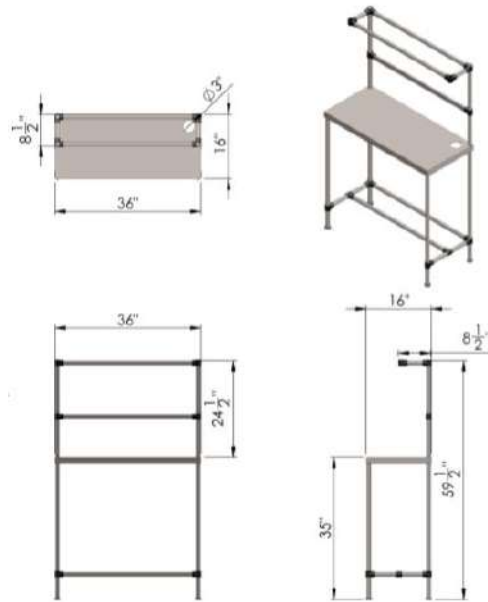
Es importante mencionar que cada departamento, cada área o zona de trabajo debe comprender la filosofía de la manufactura esbelta, así como entender que significa justo a tiempo, entre otros conceptos. En la empresa donde se aplicó el proyecto existe un departamento encargado especialmente en enseñar y aplicar herramientas y técnicas de la manufactura esbelta, el problema que observé es que sólo se les enseña a los ingenieros a cargo, pero deben involucrar más al personal, ya que ellos pueden tener respuesta o soluciones a muchos de los problemas. Esto es, es un trabajo en equipo el cambiar la forma de pensar y de actuar ya que muchos trabajan a su ritmo, el cual no corresponde al ritmo planeado, pero ya que comprendes y ejecutas herramientas y técnicas de la manufactura esbelta el trabajo se torna más fácil y la empresa reduce costos y aumenta su productividad y competitividad.

## **5.3 Trabajos futuros**

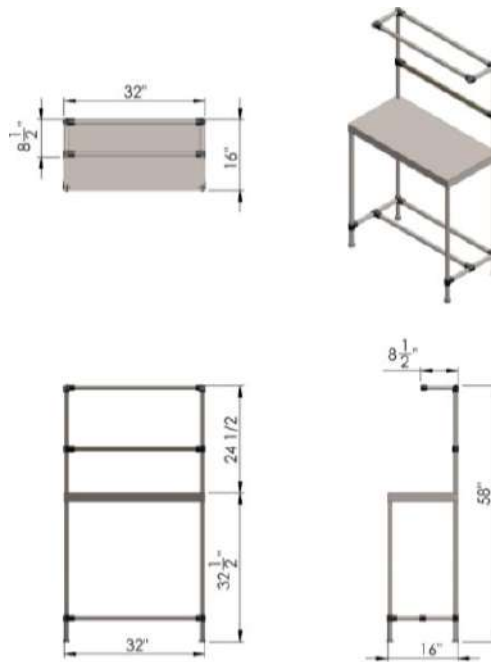
El presente trabajo de investigación abarcó el análisis de la problemática que presenta el área de moldeo. En un futuro, se deben analizar las demás áreas productivas y de servicios.

Además, para el área bajo estudio se pretende cambiar las mesas de trabajo, ya que las que tienen son pesadas y robustas, se cotizaron mesas como se muestran en la figura 5.1 y 5.2, una mesa es para la elaboración de los empaques de silicón y la otra

para otros procesos que se llevan en el área de moldeo. Una vez cambiando las mesas, se debe modificar el layout del área, para aprovechar espacios y si es posible traer más máquinas para que fabriquen otro tipo de producto, o bien que ayuden a la producción de los empaques de silicón.



**Figura 5.1** Mesa de trabajo, modelo 1



**Figura 5.2** Mesa de trabajo, modelo 2

Con la implementación del TPM, se redujeron desperdicios donde nos da oportunidad de buscar mejoras, actualmente una operadora trabaja con una sola máquina, con estudios preliminares que se realizaron, pudiera ser que una operadora maneje dos máquinas, pero que esa operadora se encargue sólo del pesado del tiro, moldeo y corte gate, siendo así, se pudiera utilizar la operadora que queda fuera para otro tipo de labores dentro del área o bien, que le ayude en las siguientes operaciones restantes en la fabricación de los empaques de silicón.

Lo interesante de este proyecto es que puede servir como base para aplicarse con otra familia de productos del área de moldeo, lo que resultará más fácil ya que el equipo de trabajo ya está familiarizado con las herramientas que se aplicaron y pudieran resolver otros problemas existentes en el área. También sirve para que este modelo se aplique en otros departamentos de la empresa, o bien, en otra empresa con departamentos similares



## 6 REFERENCIAS

Álvarez, R. et al., 2009. 'Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(9–10), pp. 949–958.

Ahuja, I. P. S. and Khamba, J. S. (2008) 'Total productive maintenance: Literature review and directions', *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), pp. 709–756. doi: 10.1108/02656710810890890.

Barcelli-Gómez, G. (1999) *Gestión, planificación y control de la producción, Ingeniería Industrial*. doi: 10.26439/ing.ind1999.n024.523.

Barcia, K. (2014) 'Propuesta para la Implementación de la Metodología de Mejora 5s en una Línea de Producción de Panes de Molde Propuesta para la Implementación de la Metodología de Mejora 5s en una Línea de Producción de Panes de Molde', (April).

Bhaskaran, E. (2012) 'Lean Manufacturing Auto Cluster at Chennai', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 93(4), pp. 383–390. doi: 10.1007/s40032-012-0035-z.

Boran, S. and Ekincioğlu, C. (2017) 'A novel integrated SMED approach for reducing setup time', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(9–12), pp. 3941–3951. doi: 10.1007/s00170-017-0424-9.

Carmignani, G. (2017) 'Scrap value stream mapping (S-VSM): a new approach to improve the supply scrap management process', *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 55(12), pp. 3559–3576. doi: 10.1080/00207543.2017.1308574.

Chan, F. T. S. *et al.* (2005) 'Implementation of total productive maintenance: A case study', *International Journal of Production Economics*, 95(1), pp. 71–94. doi:

10.1016/j.ijpe.2003.10.021.

Chen, J. C. and Cox, R. A. (2012) 'Value Stream Management for Lean Office—A Case Study', *American Journal of Industrial and Business Management*, 02(02), pp. 17–29. doi: 10.4236/ajibm.2012.22004.

Fiedler, K., Galletly, J. E. and Bicheno, J. (1993) 'Expert Advice for JIT Implementation', *International Journal of Operations & Production Management*, 13(6), pp. 23–30. doi: 10.1108/01443579310038994.

Fullerton, R. R. and McWatters, C. S. (2001) 'Production performance benefits from JIT implementation', *Journal of Operations Management*, 19(1), pp. 81–96. doi: 10.1016/S0272-6963(00)00051-6.

García-Alcaraz, J. L. and Maldonado-Macías, A. A. (2016) 'Just-in-Time Elements and Benefits', (Machuca 2002), pp. 217–253. doi: 10.1007/978-3-319-25919-2.

García Cantó, M. and Amador Gandia, A. (2019) 'Cómo aplicar "Value Stream Mapping" (VSM)', *3C Tecnología\_Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(2), pp. 68–83. doi: 10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.68-83.

Herrera, M. K. I. F. *et al.* (2019) 'Lean manufacturing tools that influence an organization's productivity: Conceptual model proposed', *Revista Lasallista de Investigacion*, 16(1), pp. 115–133. doi: 10.22507/rli.v16n1a6.

Ikatrinasari, Z. F. and Haryanto, E. I. (2014) 'Implementation of Lean Service with Value Stream Mapping at Directorate Airworthiness and Aircraft Operation, Ministry of Transportation Republic of Indonesia', *Journal of Service Science and Management*, 07(04), pp. 291–301. doi: 10.4236/jssm.2014.74026.

İşler, M. and Güner, M. (2014) 'Heijunka Techique from Lean Production Tools and Its Apparel Applications', *International Izmir Textile and Apparel Symposium*, (Figure 1), pp. 353–356.

Jeyaraj, K. L. *et al.* (2013) 'Applying Value Stream Mapping Technique for Production

Improvement in a Manufacturing Company: A Case Study', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 94(1), pp. 43–52. doi: 10.1007/s40032-012-0053-x.

Kia, R. *et al.* (2012) 'Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing', *Computers and Operations Research*, 39(11), pp. 2642–2658. doi: 10.1016/j.cor.2012.01.012.

Krijnen, A. (2007) *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer, Action Learning: Research and Practice*. doi: 10.1080/14767330701234002.

Lilian, P. (2010) 'Lean Manufacturing Manufactura Esbelta / Ágil', *Revista ingenieria primero*, 15(15), pp. 64–69.

Morales Méndez, J. D. and Silva Rodríguez, R. (2016) 'Set-up reduction in an interconnection axle manufacturing cell using SMED', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9–12), pp. 1907–1916. doi: 10.1007/s00170-015-7845-0.

Rüttimann, B. G. (2018) 'Lean Compendium', *Lean Compendium*. doi: 10.1007/978-3-319-58601-4.

Satoglu, S. I. and Sahin, I. E. (2013) 'Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1–4), pp. 319–332. doi: 10.1007/s00170-012-4171-7.

Sawhney, R., Kannan, S. and Li, X. (2009) 'Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations', *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 4(3), pp. 229–240. doi: 10.1504/IJISE.2009.023539.

Seth, D. and Gupta, V. (2005) 'Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: An Indian case study', *Production Planning and Control*,

16(1), pp. 44–59. doi: 10.1080/09537280512331325281.

Taj, S. (2008) 'Lean manufacturing performance in China: Assessment of 65 manufacturing plants', *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(2), pp. 217–234. doi: 10.1108/17410380810847927.

Tekin, M. *et al.* (2019) *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018, Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-92267-6.

Wemmerlöv, U. and Hyer, N. L. (1986) 'Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing', *Journal of Operations Management*, 6(2), pp. 125–147. doi: 10.1016/0272-6963(86)90021-5.

Wemmerlöv, U. and Johnson, D. J. (1997) 'Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements', *International Journal of Production Research*, 35(1), pp. 29–49. doi: 10.1080/002075497195966.

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. (1992) 'The machine that changed the world', *Business Horizons*, 35(3), pp. 81–82. doi: 10.1016/0007-6813(92)90074-J.

Yao, X. and Lin, Y. (2016) 'Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5–8), pp. 1665–1676. doi: 10.1007/s00170-015-8076-0.